125

عالم المعرفة

طبيعة الحياة

تأليف: فرانسيس كريك

ترجمة: د. احمد مستجير

مراجعة: د. عبد الحافظ حلمي

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923 ـ 1990

125

طبيعة الحياة

تأليف: فرانسيس كريك

ترجمة: د. احمد مستجير

مراجعة: د. عبد الحافظ حلمي



مايو 1988

المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

تقديم

(بقلم المراجع)

الكتاب الذي تقدمه سلسلة «عالم المعرفة» هذه المرة له، بين كتب العلوم الطبيعية التي قدمتها، لون مميز ومذاق فريد. فالحاضر عادة ما يكون غاية كتب تبسيط العلوم، فهي تتناول ظواهر الطبيعة والحياة بالوصف والبسط والتحليل مستخلصة منها التعميمات والقوانين، ومتطرقة إلى الآفاق التكنولوجية للتطبيق. وقد يحاول الكتاب العلمي التطلع إلى المستقبل نافذا من خلال حجبه، متنبأ بآفاق تطوره في شتى المجالات. أما كتابنا اليوم فيتخذ الماضي بغيته الأولى محاولا إزاحة الأسعار الكثيفة التي أسدلها الزمان على أسرار الماضي السحيق. ولكن النظرة المتأنية الفاحصة تكشف لنا أن المؤلف قد جال بنا جولة الخبير في أحدث جبهات التقدم العلمي في علوم الفلك والحياة القديمة والبيولوجيا الجزيئية وغزو الفضاء، ثم إنه حاول أن يتنبأ باحتمالات تطور هذه العلوم في المستقبل لاستشفاف قدرتها على التصدي للمشكلات التي يقف العلم عاجزا عن حلها في الوقت الحاضر. فالكتاب إذن يتناول جوهر الحياة في ماضيها وحاضرها بل في مستقبلها أيضا.

والبحث في أصل الحياة على الأرض، وفقا للنظرية التي يعتنقها المؤلف، موضوع «يحتاج منا كي نتفهمه إلى أن نلم بطرف من كل الجوانب المتعددة لهذا الكون الذي نجد أنفسنا فيه»، كما قال المؤلف في مقدمة كتابه. ولكن تمكن المؤلف

وبراعته في عرض تلك الجوانب هما اللذان يلفتان النظر ويستحقان التنويه والتقدير، ففضلا عن عرضه الوجيز الشامل للحقائق المتعلقة بالموضوع عن نظريات نشأة الكون ثم المجموعة الشمسية وكوكب الأرض-على الأخص- واحتمالات الحياة في كواكب أخرى، يقدم للقارئ مقدارا طيبا من المعلومات البيولوجية المنتقاة في الفصول: الثالث والرابع والخامس. كذلك يلمح القارئ الذكي عمق الفهم وبساطة العرض في كلام المؤلف عن تصنيف الأحياء ومراحل تطورها، وعن انقراض الدينصورات في الفصل التاسع. والقارئ الذي ينتظر من الكتاب كلاما بيولوجيا سوف يدهش، ويسعد في الوقت نفسه، بالمقدار المناسب الذي يجده في الفصل الثاني عشر عن تصميم صواريخ ارتياد الفضاء وأسرار ما تستخدمه من وقود.

وسوف يحبس القارئ أنفاسه وهو يتابع، في الفصل الثالث عشر، تحليل المؤلف الدقيق في ذهابه وإيابه المتكررين بين نظريتين يوازن بينهما. ولكن أهم ما في هذا الفصل ما يعرضه المؤلف عن «شفرة الوراثة» والمغزى العميق لوحدتها في الكائنات الحية جمعاء «ولا ينبئك مثل خبير»، فالمعروف أن جيمس واطسون وفرانسيس كريك-مؤلف كتابنا-قد أفادا من بحوث موريس ولكنز بالأشعة السينية عن تركيب الأحماض النووية. فقدما عام 1953 نموذج بنيانها في حلزون مزدوج، وهو النموذج الذي أصبحنا اليوم نرى رسومه في كل مكان. وقد اقتسم ثلاثتهم، واطسون وكريك وولكنز، جائزة نوبل لعام 1962، عن هذا الإنجاز العلمي الباهر الذي أدخل البيولوجيا في عصرها الجديد-عصر البيولوجيا الجزيئين بكل تطوراته المذهلة. وقد ارتبط اسما واطسون وكريك ارتباطا وثيقا، وكأنهما خيطا حلزونهما المزدوج المشهور باسم واطسون-كريك. ويروى كريك في مناسبات متعددة، طرائق عن هذا الازدواج الذائع، حتى أن الرئيس الجديد للقسم الذي يعمل فيه كريك في جامعة كيمبردج، دهش عندما قدم له كريك (عام 1955) صديقه واطسون-الأمريكي. قائلا: عجبا، كنت أظن اسمك «واطسون كريك»! ولكن الفضل يرجع إلى كريك في حل شفرة الوراثة، إذ إن أثبت هو ومعاونوه أن وحدة الشفر ثلاثية مما أدى في النهاية إلى حل طلاسم اللغة السرية التي تسجل بها جميع الخصائص الموروثة للأحياء، اللانهائية في العدد والتنوع، والتي تترجم إلى لغة الأحماض الأمينية والبروتينيات فتظهر الخصائص

وتظهر الأحياء. إنها سر أسرار الحياة، وهي الحقيقة التي يمكن أن توصف بأنها أغرب من الخيال. وصدق ذلك الناقد الذي كتب في إحدى المجلات العلمية، عندما ظهر الكتاب الذي نقدم ترجمته، يقول: إن الأغراء الذي لا يقاوم في هذا الكتاب أنك تقرأ عن الحياة «نفسها» بقلم كريك «نفسه».

ونظرية أصل الحياة من كائنات دقيقة وجهت إلى الأرض توجيها من كوكب آخر هي نوع من الرياضة الذهنية المثيرة، أو لون من «الحدس» العلمي (مع شئ من التجوز في الاستعمال)، بل لعلها«رجم علمي بالغيب»،إن جاز هذا التعبير. وإذا لم يقتنع القارئ بما فيها من منطق أو خيال، فلا عليه من بأس، بل لعل أبلغ ما قد يجنيه القارئ-فضلا عن المعلومات والآراء التي يزخر بها الكتاب، كما أسفلنا-هو أن يرى كيف يقيم العلماء أفكارهم في مثل هذه المواضيع، وكيف يصوغونها، وكيف يقدرون حقائق صوابها، وأن ما قد يقرأه عنها في كتاب مدرسي هو اختصارات توحي بأن تلك الأفكار حقائق ثابتة، أو حتى نظريات راجحة، وهذا أخطر ما في الأمر. ويكرر كريك في كتابه ما يقال عن نظرية «البذور الكونية الموجهة» من أنها «مجرد خيال علمي»، كما أخبرته زوجته. أما هو فانه يصف النظرية بأنها «نسيج من المعقولية»، ولكنه يعود فيؤكد في الوقت نفسه بأن موضوعها «أمر يستحيل علينا أن نجزم فيه برأي»، ثم هو يختتم الفصل الرابع عشر بما ترجمته: «وإذا كان لجدلنا في هذا الكتاب أن يبين شيئا فهو أن حسم الآمر بطريقة أو بأخرى لن يكون أمرا ميسورا، وسيبقى تحديا كبيرا لعلمنا وتكنولوجيتا، لنا ولأحفادنا من بعدنا».

فكأني أحس بشيء من القلق يساور بعض القراء، إذا تصوروا أن ما يقرءون مناف لعقائدهم، ولكنني أسارع فأذكرهم وأذكر نفسي بآيتين شريفتين من القرآن الكريم: أولاهما قوله تعالى: «ما أشهدتهم خلق السمات والأرض ولا خلق أنفسهم..»(الكهف: 51)، أما ثانيتهما فهي قوله تعالى: «قل سيروا في الأرض فانظروا كيف بدأ الخلق.. .. ..» (العنكبوت: 20). فنحن هنا أمام شئ أمرنا بأن نجتهد في النظر فيه، وان كنا نعلم أننا لن نتحقق منه. فليفكر المؤمن ما شاء الله له أن يفكر، وليقرأ ما شاء له أن يقرأ، وهو يعلم-من قبل ومن بعد-أن الخالق-سبحانه وتعالى-قادر على أن يخلق ما يشاء، كيف يشاء، وحيثما يشاء.

د. عبد الحافظ حلمي محمد

شكر

ألفت هذا الكتاب بعد أن انتقلت إلى معهد سولك (Silk) بجنوب كاليفورنيا. وأنا مدين بالشكر الجزيل لمؤسسة كيكهيفر التي منحتني كرسي البحوث، , ولمؤسستي فيركهوف ونوبل للتدعيم الإضافي الذي تلقيته منهما، كما أزجي شكري الخاص للدكتور فردريك ده هوفمان، رئيس معهد سولك الذي هيأ لي الجو المثالي للعمل العلمي الخلاق.

لعلى لم أكن لأهتم بمشكلة منشأ الحياة لولا صداقتي الطويلة بالدكتور ليسلي أورجل (Leslie Orgel). لقد نشأت فكرة البذور الكونية الموجهة-تلك الفكرة التي تشكل هيكل هذا الكتاب-في بحث مشترك كتبناه سويا، ولكن تأثيره كان أبعد من ذلك بكثير. كانت جماعته البحثية في معهد سولك تجري بحوثا على كيمياء-ما قبل-الحياة! وكنا نناقش نواحي المشكلة كل أسبوع تقريبا. كما أنه قام بقراءة المسودة الأولى ووضع تعليقاته الدقيقة عليها. ولقد قرأ هذه المسودة أيضا الدكتور جوستاف أرينيوس (حفيد أرينيوس (Arrhenius)، الذي كان أول من اقترح فكرة البذرة الكونية) وبسبب تعليقاته العديدة قمت بمراجعة مكثفة لبعض أجزاء هذا الكتاب، لاسيما تلك التي تعالج الغلاف الجوي الأولى للأرض، ولو أنه لا يجب أن يعتبر مسؤولا عن النتيجة النهائية لهذه المراجعة. كما ساعدني وبطرق مختلفة كل من توم يوكس (Tom Jukes) وابني ميخائيل كريك (Michael Crick).

ولقد ساعدني كثيرا-ككاتب غير متمرس-موظفو دار النشر، سيمون وشصطر. فتعليقات أليس مايهيو واقتراحاتها قد منحت الكتاب شكلا أفضل كثيرا مما كان عليه، كما ساعدني حماسها على التغلب على تهيبي الأول، ولقد كانت هي التي اقترحت عنوان الكتاب. ولقد أبدت آن جودوف-في هدوء-كفاءة وصبرا جميلا في مواجهة الارتباك وتأخر البريد. أما نانسي شيفمان التي حررت الكتاب فقد استطاعت، بأجمل طريقة، أن تصلح من لغتي وأن تزيل الأخطاء والغموض. أما بيتي لارس، سكرتيرتي في معهد سولك فقد كافحت ببسالة مع خطي غير المقروء وبصفة خاصة أيضا مع الكثير من المصطلحات التقنية غير المألوفة.

شكري إذن لهؤلاء جميعا على مجهوداتهم.

مقدمه

إذن، أين هم ؟

كان إنريكو فيرمي Enrico Fermi، الفيزيائي الايطالي، رجلا ذا مواهب فذة. كانت زوجته تعتقد أنه عبقري، وكان الكثير من العلماء يشاركونها هذا الرأي. لم يكن الرجل متميزا في الفيزياء النظرية فحسب، وإنما كان متميزا أيضا كباحث تجريبي. كان فيرمي وصديقه العالم المجري ليوزيلارد Leo Szilard، هما اللذين قاما بتصميم أول مفاعل ذري وإنشائه، وذلك في ملعب سكواش مهجور تحت أستاذ رياضي في شيكاغو خلال الحرب العالمية الثانية. وفي هذا المكان غير المعقول طوعت القوة الرهيبة للانشطار الذري لأول مرة على كوكبنا.

كان فيرمي، مثله مثل معظم كبار العلماء، ذا اهتمامات متعددة خارج نطاق تخصصه، وإليه ينسب سؤال شهير، له ديباجة طويلة، يمكن أن نعرضها فيما يلي: كوننا هذا واسع هائل، يحوى من النجوم ما لا يعد ولا يحصى. والكثير منها لا يختلف عن شمسنا. وجرتنا تضم ما يقارب 10^{11} نجما*. ويوجد في الكون ما لا يقل عن 10^{10} مجرة. والكثير من هذه النجوم له على الأرجح كواكب تدور حوله، ولا بد من أن نسبة معقولة من هذه الكواكب تحمل على أسطحها ماء سائلا، ولها غلاف جوي غازي مؤلف من مركبات بسيطة من الكربون والنيتروجين والأكسيجين والهيدروجين. والطاقة التي تنساب من النجم (والتي تتخذ في شمسنا

صورة ضوء) لتنصب على سطح الكوكب ستتسبب في تخليق العديد من المركبات العضوية البسيطة، فذا تحيل المحيط إلى حساء رقيق دافئ. ستتحد هذه الكيماويات مع بعضها البعض، وتتفاعل بطرق معقدة لتكون نظاما ذاتي التكاثر، نقصد شكلا بدائيا من الحياة. ستتكاثر هذه الكائنات البسيطة وتتطور بالانتخاب الطبيعي فتصبح أكثر تعقيدا، ليبزغ عنها في نهاية الأمر كائنات نشيطة مفكرة. ويتبع ذلك ظهور المدنية والعلم والتكنولوجيا، ولن تلبث هذه الكائنات حتى تسيطر بعد فترة ليست بالطويلة على كوكبها بأكمله، ثم تتوق بعدئذ إلى غزو عوالم جديدة، وستتعلم عندئذ السفر إلى الكواكب المجاورة، ثم آلي كواكب نجوم قريبة، لاختيار الكواكب التي تكون بيئاتها ملائمة لاستطيانها إياها وفي النهاية سوف تنتشر هذه الكائنات في المجرة بأكملها مكتشفة كل رجأ تبلغه من أرجائها. ومثل هؤلاء الناس الموهوبين غير العاديين لا يمكن أن يفوتهم مكان جميل كأرضنا، بمواردها المائية الوفيرة وبمركباتها العضوية وبجوها البديع وبما هو غير ذلك من المميزات الأخرى! وهنا يطرح فيرمي سؤاله الحاسم: إذا كان هذا كله قد حدث، فلا بد من أنهم قد وصلوا إلى الأرض الآن. إذن، أين هم ؟»، كان المجري ليوزيلارد وهو رجل ذو ملكة تهكمية-هو الذي أعطى الرد المضبوط على سؤال فيرمي البليغ. قال: «إنهم بيننا بالفعل، ولكنهم يطلقون على أنفسهم اسم (المجريين)».

يقبل الكثير منا الاتجاه العام لجدل فيرمي، ولكن الصعوبات تظهر عندما يحاول الشخص تقدير الاحتمالات في كل خطوة، ليصوغها في صورة رقمية. فليس هناك بالفعل أدلة حاسمة على وجود كواكب للنجوم الأخر، وإن كان هذا أمرا يبدو مرجحا، فإذا ما وجدت الكواكب فمن المحتمل أن تكون بيئة البعض منها ملائمة لإنتاج حساء طيب، نقصد مزيجا من المركبات العضوية البسيطة والماء. أما الخطوة التالية فهي تلك التي لا تزال حتى يومنا هذا لغزا: أن ينشأ عن الحساء نظام كيميائي بدائي ذاتي التكاثر.

وحتى لو حدث هذا فإننا لا نعرف مدى احتمال أن تنتهي عملية التطور الطويلة إلى حضارة عليا، ولا نعرف بالضبط الزمن الذي قد تحتاجه هذه العملية، ولا إذا ما كانت مثل هذه الكائنات ستكتشف الكون حقا، ولا مدى نجاحها في رحلاتها خارج كوكبها. قد يحدث حقا كل السيناريو الذي

اقترحه فيرمي، ولكن بعض الخطوات قد تكون بالغة الندرة، وقد يكون بعض المراحل بطيئا جدا، وفي هذا ما قد يفسر بسهولة السبب في عدم ظهور رواد الفضاء الخارجي على الأرض حتى الآن.

ولقد حدث أن اقترح الفيزيائي السويدي أرينيوس في نهاية القرن الماضي فكرة مختلفة بعض الشيء عن منشأ الحياة على الأرض. كان الاقتراح يقول إن الحياة لم تظهر على الأرض تلقائيا، وإنما بذرتها كائنات دقيقة ألقى بها من الفضاء، وقد افترض أن ضغط الضوء الساقط على هذه الجراثيم-التي نشأت في مكان آخر من الكون-هو الذي دفعها في الفضاء في نعومة، وقد أطلق أرينيوس على فكرته هذه اسم البذور الكونيةPanspermia أو «البذور في كل مكان».

وهذه الفكرة لم تعد مستساغة في عصرنا الحالي، إذ يصعب أن نتفهم كيف تتمكن الجراثيم الحية من أن تصل إلى الأرض بعد رحلتها الطويلة في الفضاء دون أن تدمرها الإشعاعات.

وفي هذا الكتاب سأتفحص صيغة أخرى لفكرة البذور الكونية كنت قد اقترحتها مع لسلي أو رجل منذ بضع سنين. فلكي نستبعد تلف هذه الكائنات الدقيقة قبل وصولها افترضنا أنها انتقلت في مقدمة سفينة فضاء غير مأهولة أرسلتها إلى الأرض حضارة أعلى تطورت، في مكان ما، منذ بضعة بلايين من السنين. وكان لا بد من أن نعتبر السفينة غير مأهولة حتى تستطيع السفر دون عائق زمني. وابتدأت الحياة على أرضنا عندما سقطت هذه الكائنات في المحيط الأولي وابتدأت في التكاثر. وقد أطلقنا على هذه الفكرة اسم «البذور الكونية الموجهة» Directed Panspermia، ونشرناها بهدوء في «إيكاروس» Icarus، وهي مجلة لعلوم الفضاء يحررها كارل ساجان. والفكرة ليست جديدة تماما فقد سبق أن أشار إليها ج. س. هالدين سنة 1954 إشارة عابرة، كما اهتم بها آخرون منذ هذا التاريخ وإن لم يكن ذلك بالتفاصيل التي قدمناها.

وسأناقش في الفصل الثالث عشر قضية ما إذا كانت فكرة البذور الكونية الموجهة تدخل في نطاق العلم الحقيقي أم أنها مجرد شكل من القصص العلمي غير باعث على التخيل. أما الجزء الأكبر من الكتاب فيعرض بالتفصيل مختلف خطوات جدل فيرمي. وفي هذا الجزء نلتزم ما

أمكننا بالمعرفة العلمية التي لدينا اليوم، ولو أنها واهية في مواقع كثيرة. وبدلا من أن أحل مشكلة منشأ الحياة على الأرض فإنني أود أن أرسم معالم الخلفية التي لا بد من أن يعتمد عليها أي حل، ويا لها من خلفية ! فمن الدقة المتناهية للذرات والجزيئات إلى البانوراما الهائلة للكون كله، ومن الوقائع التي تحدث في الأجزاء المتناهية الصغر من الثانية، إلى الامتداد الكامل للزمن نفسه، ومن الانفجار الهائل في بداية الكون إلى الزمن الحاضر، ومن التفاعلات المعقدة للجزيئات العضوية الكبيرة إلى التعقيدات اللانهائية للحضارات العليا والتكنولوجيا الرفيعة. والحق أن من أهم العوامل التي تضفي جاذبية على موضوع كهذا، عرف أنه يسبب الإحباط، أنه يحتاج منا كي بتفهمه إلى أن نلم بطرف من كل الجوانب المتعددة لهذا الكون المدهش الذي نجد أنفسنا فيه.

المؤلف

١ الأزمنة والمسافات طويلها وقصيرها

هناك حقيقة واحدة عن نشأة الحياة تبدو شبه مؤكدة، وهي أنها، آيا كان الزمان والمكان اللذان حدثت فيهما، لابد قد بدأت منذ زمن طويل جدا، زمن يصعب لاتساعه أن نكون أي فكرة واقعية عنه. إن خبرتنا الشخصية تمتد إلى الخلف فترة تبلغ عشرات السنين. وبالرغم من قصر هذه المدة فإننا عرضة لأن ننسى كيف كان العالم حقا في شبابنا. ومنذ مائة عام كانت الأرض أيضا مأهولة بأناس منهمكين في أمورهم الخاصة، يأكلون ويشربون ويعشقون ويكسبون، كل منهم تشغله مشاكله. أما الآن فليس منهم-فيما عدا استثناءات نادرة-من يحيا على وجه الأرض. لقد حلت محلهم مجموعة مختلفة تماما من الأشخاص تعمر الآن الأرض من حولنا. وهكذا فإن قصر عمر الإنسان يحد بالضرورة من فترة التذكر الشخصي المباشر.

وقد أعطتنا الحضارة البشرية الوهم بأن ذاكرتنا تعود بنا لأبعد من ذلك. فقبل اختراع الكتابة كانت خبرات الأجيال الأسبق-المضمنة في القصص والأساطير والتعاليم الأخلاقية الهادية إلى السلوك

السوي-كانت تنتقل شفويا أو-بدرجة أقل-في شكل صور ونقش وتماثيل. ولقد جعلت الكتابة نقل الخبرات أكثر دقة وأكثر شمولا، ثم أدى التصوير الضوئي في السنين الأخيرة إلى جعل فكرتنا عن الماضي القريب أكثر وضوحا. وستقدم السينما للأجيال القادمة انطباعا عن أسلافهم أكثر مباشرة وأكثر حيوية، عما نستخلصه نحن من الكلمة المكتوبة. أليس من المؤسف ألا تكون لدينا صورة ناطقة لكليوباترة؟ إن مثل هذه الصورة لن تكشف فقط عن حقيقة طول أنفها، وإنما ستفصح أيضا بشكل أوضح عن مكمن سحرها!

إننا نستطيع ببعض المجهود أن نرجع بأنفسنا إلى أزمان أفلاطون وأر سطو بل حتى إلى أزمان أبطال هوميروس في العصر البرونزي. وفي إمكاننا أن نعرف شيئا عن الحضارات المتطورة في مصر القديمة والشرق الأوسط وأواسط أمريكا والصين، وأن نعرف أيضا القليل عن مجتمعات أخرى أكثر بدائية وتشتتا. وبالرغم من ذلك يصعب علينا أن نتعمق سير التاريخ-من بدايات التحضر حتى يومنا هذا-بطريقة نحس فيها حقا بالمجرى البطيء للزمن. أن عقولنا لم تهيأ للتعامل السهل مع أحقاب من الزمن تبلغ مئات أو آلافاً من السنين.

ولكننا إذا ما أردنا أن نفكر في أصل الحياة، فإن آماد الزمن التي يجب أن نتعامل معها تجعل فترة التاريخ البشري كلها تبدو مجرد طرفة عين. وليس هناك من طريقة سهلة يمكن بها تكييف أفكارنا مع مثل هذه الفترات الهائلة من الزمن. فضخامة الزمن الذي مضى تفوق قدرة إدراكنا المباشر. وكل ما نستطيعه هو أن نشكل عنه انطباعا مبنيا على أوصاف غير مباشرة، تماما كما يستطيع الأعمى أن يكون صورة لما حوله عن طريق اللمس والصوت. إن الطريقة المألوفة لوضع الإطار الملائم لأفكارنا تكون بتشبيه عمر الكون بطول يوم واحد من أيامنا على هذه الأرض، وربما بدا التشبيه افضل إذا عادلنا عمر الأرض بأسبوع واحد. عندئذ سيصبح عمر الكون منذ نشأته نحو أسبوعين أو ثلاثة. وتكون أقدم الحفريات التي تستطيع العين المجردة رؤيتها (والتي عاشت في بدء العصر الكمبري) قد ظهرت على مسرح الحياة منذ يوم واحد فقط، أما الإنسان الحديث فيظهر في الثواني العشر الأخيرة، بينما تظهر الزراعة في الثانية أو الثانيتين الأخيرتين، أما بطل الأوديسة فقد كان يحيا على الأرض منذ نصف ثانية فقط.

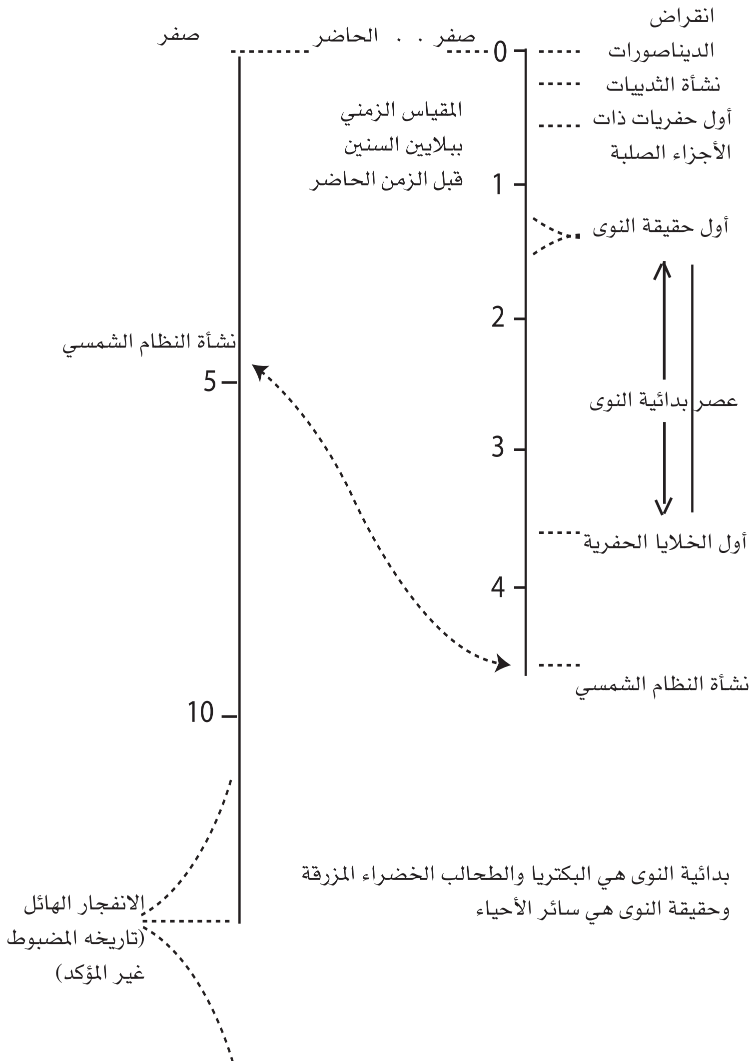
ومع ذلك فحتى مع هذه المقارنة سيصعب أن نقرب لإدراكنا مقياس الأزمان الطويلة. وهناك بديل آخر هو أن نرسم الزمن على شكل خط، ثم نؤشر على طوله بمواقع الأحداث المختلفة، غيران المشكلة هنا هي أن نجعل للخط من الطول ما يسمح بأن تظهر تجربتنا البشرية عليه بمقياس معقول، وأن يكون الخط في الوقت نفسه قصيرا بحيث يستطاع رسمه وفحصه. وقد رسمنا مثل هذا الخط في الصفحة المقابلة حتى يسهل الرجوع إليه. ولكن، ربما كان أكثر الطرق إيضاحا هو مقارنة الزمن بأسطر الطباعة نفسها.

فلنفترض أن هذا الكتاب كله يساوي طول الزمن من العصر الكمبري [1] حتى وقتنا الحاضر، أي نحو 600 مليون سنة-. في هذه الحالة ستمثل كل صفحة نحو ثلاثة ملايين سنة [2]، ويمثل كل سطر نحو 90 ألف سنة وكل حرف أو مسافة صغيرة نحو1500 سنة. عندئذ ستكون الأرض قد نشأت منذ سبعة كتب، ويكون الكون قد نشأ قبل ذلك بنحو عشرة كتب (وهذا تقدير تقريبي)، ويكون كل التاريخ المسجل للإنسان قد غطاه آخر حرفين أو ثلاثة في الكتاب.

فإذا ما أخذت تقرأ هذا الكتاب، من أوله ببطء، كل حرف على حدة تذكر أن كل حرف يمثل 1500 سنة-فإن هذا قد يقرب إلى ذهنك الطول الرهيب للزمن الذي علينا أن نتعامل معه. وبناء على هذا القياس ستكون حياتك أنت نفسك أقصر من عرض فاصلة! وإذا كانت الحياة قد نشأت هنا على أرضنا حقا فلن يهمنا كثيرا بقية الكون. أما إذا كانت قد نشأت في مكان آخر فإن علينا أن نواجه مشكلة ضخامة المسافات الشاسعة. وبالرغم من صعوبة نقل انطباع واضح ومحدد عن عمر الكون فإن معرفة حجمه تكاد تتجاوز مدى الفهم البشري، مهما حاولنا التعبير عنه. إن العقبة الكأداء الرئيسة هي ذلك الفراغ الرهيب في الفضاء. ليس مجرد الذرات القليلة الموجودة بين النجوم وإنما تلك المسافات الهائلة بين كل نجم ونجم. فالعالم المرئي القريب منا ممتلئ بالأشياء.

(1) في سلم الأزمنة الجيولوجية، «الكمبري» هو العصر الأول، آي الأقدم، بين العصور الستة المكونة «لحقب الحياة القديمة». ولذلك فهو الأقدم أيضا بين جميع عصور «زمان الحياة الظاهرة» الذي يمتد حتى وقتنا الحاضر و«الكمبري» نسبة إلى الاسم القديم لويلز Wales ببريطانيا. [المراجع]

(2) يقع الأصل المترجم في نحو 190 صفحة، وفي كل صفحة 33 سطرا، ومتوسط عدد الكلمات في السطر الواحد نحو 11 كلمة.



الزمن مرسوما في صورة خط عليه مواقع الأحداث الكونية والأرضية.

وتقديراتنا البديهية لبعدها تعتمد أساسا على أدلة مختلفة يمليها حجمها الظاهر وعلاقاتها المرئية. ولكن الحكم يغدو أكثر صعوبة بكثير إذا أردنا أن نقدر بعد شئ غير مألوف يسبح في الفراغ على صفحة السماء الزرقاء. لقد سمعت مرة معلقا في الراديو الكندي يقول، عندما حوصر بالسؤال، إنه يعتقد أن القمر «له حجم البالون (المنطاد) تقريبا» ! غير أنه ينبغي علي أن أعترف بأن هذا قد حدث قبل أيام غزو الفضاء.

والفقرة التالية توضح محاولة الفلكيين جاسترو وطومسون في وصف بعد الأشياء في الفضاء عن طريق المقارنة:

«فلنتصور أن للشمس حجم البرتقالة، عندئذ ستكون الأرض مجرد حبة رمل تدور في مدار حول الشمس على بعد ثلاثين قدما. ويكون كوكب المشتري-وحجمه أحد عشر ضعفا لحجم الأرض-عبارة عن نواة كرز تدور على بعد مائتي قدم من الشمس، أي على بعد يساوي المسافة بين شارع وآخر في المدينة. وعلى أساس هذا القياس تتألف المجرة من مائة بليون برتقالة، كل منها يبعد عما يجاورها بمسافة تبلغ في المتوسط ألف ميل».

والمشكلة مع مثل هذه المقارنات هي أنه يستحيل علينا باستخدامها أن نتمكن من تقدير الأبعاد في الفضاء الفارغ. فالمقارنة بعرض المباني بشوارع المدينة مقارنة مضللة، لأننا نستطيع بمنتهى البساطة أن نتخيل المباني فيها، وبهذا نفقد فكرة الفراغ. ولو حاولت أن تتخيل برتقالة سابحة ولو على بعد ميل في الفضاء، فسيبدو بعدها بالنسبة لك غير محدد، أما لو كانت «البرتقالة» على بعد ألف ميل فستكون أصغر من أن ترى، إلا إذا كانت متوهجة.

وهناك طريقة أخرى ممكنة وهي تحويل المسافات إلى أزمنة. تخيل أنك على سفينة فضاء تسير بسرعة تفوق كثيرا سرعة أي سفينة فضاء حالية. دعنا نفترض-لأسباب متعددة سنوضحها فيما بعد-أن سرعة سفينتك تبلغ 1 / 100 من سرعة الضوء، أي أنك تنطلق بسرعة ألف وثمانمائة ميل في الثانية. بهذه السرعة يمكنك أن تقطع المسافة بين نيويورك وأوروبا في ثلاث ثوان (تقطع طائرة الكونكورد هذه المسافة في ثلاث ساعات). أنت تنطلق إذا بسرعة أكبر بالتأكيد من كل المعدلات التي نعرفها، إذ يمكنك أن تصل القمر في دقيقتين، وأن تصل الشمس في خمس عشرة ساعة. أما

عبور النظام الشمسي من أحد جانبيه إلى الجانب الآخر-أي ما يقارب قطر مدار كوكب نبتون-فسيستغرق تقريبا ثلاثة أسابيع ونصف أسبوع. وما نود أن نبرزه هنا هو أن هذه الرحلة ليست مثل رحلة قطار طويلة جدا، أعني رحلة أطول من المسافة بين موسكو وفلاديفوستوك ذهابا وإيابا. فمثل هذه الرحلة الأخيرة قد تكون مملة حقا بالرغم من المناظر التي ستتتابع أمام ناظريك طول الوقت خلال نافذة القطار أما عند عبورك النظام الشمسي فلن يكون هناك شئ على الإطلاق خارج نافذتك في سفينة الفضاء. ففي بطء شديد، يوما وراء يوم، ستغير الشمس حجمها وموقعها. وكلما ابتعدت عنها لحظت تناقص قطرها، حتى إذا ما اقتربت من مدار نبتون بدت لك «أكبر قليلا من رأس الدبوس» كما وصفتها قبلا مفترضا أن قطرها الواضح لنا من الأرض يناظر بالتقريب قطر الدولار الفضي. وبالرغم من السفر بهذه السرعة الفائقة-تذكر أنك بهذه السرعة يمكنك أن تسافر من آي مكان على الأرض إلى أي مكان آخر على سطحها في زمن لا يتجاوز سبع ثوان-فإن هذه الرحلة ستكون مملة إلى حد كبير، وسيكون أهم انطباعاتك هو ذلك الفراغ شبه التام في الفضاء، ففي هذا البعد سيبدو أي كوكب مجرد بقعة عارضة داخل هذا الفراغ الهائل.

إن ذلك الشعور بالفراغ الهائل يكون سيئا بما فيه الكفاية حتى لو حصرنا أنفسنا في النظام الشمسي. (لاحظ أن النماذج التوضيحية للنظام الشمسي المعروضة في المتاحف-كلها تقريبا-مضللة إلى حد-بعيد، فالشمس والكواكب تمثل دائما بشكل أكبر كثيرا مقارنة بالمسافات بينها). ولكننا نصدم حقا بضخامة الفراغ عندما نحاول أن نتجاوز النظام الشمسي، فلكي نصل إلى أقرب نجم لنا-وهناك في الواقع مجموعة من ثلاثة نجوم شديدة التقارب-فإن سفينة الفضاء ستحتاج منا إلى 430 عاما، والأغلب أننا لن نقابل شيئا ذا أهمية في طريقنا إليه، أي أن السفر بهذه السرعة الرهيبة لن يمكن فردا يمتد عمره إلى مائة عام من أن يقطع حتى ربع المسافة إلى هناك. وسنمضي باستمرار نسبح من فراغ إلى فراغ دون أن نقابل شيئا، اللهم إلا بضعة جزيئات غازية، أو بقعة ضئيلة من الغبار بين الحين والحين تؤكد لنا أننا لا نقف في المكان نفسه. وفي بطأ شديد سيغير بعض من أقرب النجوم مواقعه قليلا، بينما تضمحل الشمس نفسها شيئا

فشيئا حتى تتحول إلى مجرد نجم آخر داخل تلك البانوراما اللامعة من النجوم التي نشاهدها حول سفينة الفضاء وعلى الرغم من أن هذه الرحلة إلى أقرب نجم تبدو طويلة حقا هي بالمقاييس الفلكية قصيرة إلى أبعد حد. فالعبور من أحد جوانب مجرتنا إلى الجانب المقابل يستغرق مالا يقل عن عشرة ملايين سنة. ومسافات من هذا القبيل أبعد من كل ما يمكننا تخيله إلا بأكثر الطرق تجريدا. ومع ذلك فالمسافة عبر مجرتنا-إذا أخذت بالمقياس الكوني-لا تكاد تعتبر مسافة على الإطلاق. صحيح أن بعد أقرب المجرات إلينا-مجرة أندر وميدا-لا يبلغ إلا نحو عشرين ضعف هذه المسافة، ولكن الوصول إلى حدود الفضاء الذي يمكننا رؤيته من خلال التلسكوبات العملاقة تتطلب منا سفرا لزمن يبلغ ألف ضعف هذه المدة. وإنه لمن الغريب في رأيي أن هذا الاكتشاف العجيب، هذا الاتساع الرهيب وهذا الفراغ كله، لم يثر خيال الشعراء أو المفكرين الدينيين فالناس عازفون عن أن يتأملوا تأملا خلاقا في حجم هذا العالم العجيب الذي وجدنا أنفسنا فيه.

وإن الأمر ليبدو كما لو أن التفاهة المطلقة للأرض وغلافها الحيوي الرقيق الذي يحيط بها قد تسببا في شل ملكة التخيل. لقد كان ذلك على ما يبدو أرهب من أن نفكر فيه، ولذا آثرنا أن نتجاهله.

لن أناقش هنا كيف أمكن تقدير هذه المسافات الهائلة. إننا نستطيع بدقة بالغة أن نقدر أبعاد الأجرام الأساسية في نظامنا الشمسي باستخدام نظرية الميكانيكا الشمسية ونظرية المسح الراد آري سويا. أما أبعاد أقرب النجوم فنقدرها عن طريق التغير الطفيف في مواقعها النسبية إذا ما رصدت من المواقع المختلفة التي تتخذها الأرض أثناء دورتها السنوية حول الشمس. أما فيما وراء ذلك فيصبح الجدل تقنيا وأقل تحديدا. ولكن الحقيقة هي أنه ليس هناك أدنى شك في أن الأبعاد لها تلك الضخامة التي يقول بها الفلكيون.

كنا حتى الآن نتعامل مع أبعاد بالغة الضخامة. ولحسن الحظ أن الوضع لن يكون بهذا السوء عند معاملتنا المسافات والأزمنة بالغة الصغر. إننا نحتاج إلى معرفة حجم الذرات مقارنة بحجم الأشياء في حياتنا اليومية، ولكن حجم النواة الدقيقة داخل الذرة ومحتوياتها لن يهمنا كثيرا. ويمكننا أن نحل ذلك في قفزتين صغيرتين نسبيا. دعنا نبدأ بالمليمتر. إننا نستطيع

أن نرى هذه المسافة بسهولة بالعين المجردة. والميكرون هو جزء واحد من ألف جزء من هذه المسافة. ويبلغ طول خلية البكتيريا نحو ميكرونين، بينما يبلغ طول موجة الضوء المرئي (التي تحدد ما يمكننا رؤيته خلال الميكروسكوب القوي) نحو نصف ميكرون.

نعود الآن فنخفض الطول إلى ما يساوي جزءا من ألف جزء من الميكرون لنصل إلى النانومتر. وتبلغ المسافة النمطية بين الذرتين المتجاورتين المرتبطتين جيدا في المركبات العضوية نحو عشر أو خمس نانومتر. ويمكننا تحت أفضل الظروف، باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني، أن نرى مسافات نانومترية، أو مسافات أقل قليلا منها، وذلك إذا ما أمكن تحضير العينات بصورة مناسبة. هذا فضلا عن أننا نستطيع أن نعرض صورا لسلسلة كاملة من الأشياء الطبيعية من مقاسات تتراوح ما بين البرغوث وبين مجموعة صغيرة من الذرات، ومن ثم يمكننا ببعض المران أن نحس بتدرج المقاييس واحدا بعد الآخر. وعلى عكس الفضاء الفارغ سنجد عالم الحياة ممتلئا بالتفاصيل على كل مستوى. أما سهولة التحرك من مقياس إلى آخر فلا يجب أن تعمينا عن حقيقة أن عدد الأشياء داخل حجم معين قد يكون بالغ الضخامة، فقطرة الماء على سبيل المثال تحوى أكثر من ألف بليون بليون جزيء ماء.

أما عن الحدود الدنيا للزمن فإننا لن نهتم كثيرا بزمن يقل عن البيكو ثانية، نقصد جزا واحدا من مليون جزء من الثانية. ولو أننا نعرف أن أزمنة أقصر من هذا كثيرا تحدث في التفاعلات النووية وفي الدراسات على الجسيمات تحت النووية. وهذه الفترة الضئيلة هي المقياس الزمني الذي تقاس به ذبذبة الجزيئات، ولكنا إذا نظرنا إليها من زاوية أخرى فلن تبدو غريبة لهذه الدرجة. تأمل سرعة الصوت. إن هذه السرعة بطيئة نسبيا في الهواء-أسرع قليلا من معظم الطائرات النفاثة-إذ تبلغ نحو ألف قدم في الثانية. فإذا ما حدث برق على بعد ميل فسيصلك صوته بعد خمس ثوان كاملة. وهذه السرعة-بالمناسبة-هي بالتقريب نفس متوسط سرعة جزيئات الغاز في الهواء فيما بين تصادماتها مع بعضها البعض. وسرعة الصوت في معظم الجوامد عادة ما تكون أعلى قليلا من هذا.

نسأل الآن، كم من الوقت تحتاج موجة الصوت للمرور فوق جزيء صغير؟

إن عملية حسابية بسيطة توضح أن هذا الوقت سيقاس بالبيكوثانية. وهذا بالضبط ما نتوقعه، لأن هذا هو المقياس الزمني الذي تتذبذب به ذرات الجزيئات في مواجهة بعضها بعضا. والمهم أن هذا هو معدل النبض الأساسي للتفاعلات الكيميائية، فالإنزيم-وهو حافز عضوي-يستطيع أن يتفاعل ألف مرة أو أكثر في الثانية الواحدة. وقد يبدو هذا سريعا بالنسبة لنا، ولكن هذا المعدل في واقع الأمر معدل بطيء بالنسبة للمقياس الزمني للتذبذب الذري.

ولكن للأسف، ليس من السهل أن نصور المقاييس الزمنية بين الثانية والبيكوثانية، ولو أن الكيميائي الفيزيائي يمكنه أن يتعلم الألفة بهذا المدى الواسع. ولحسن الحظ أننا لن نتعامل مباشرة مع هذه الأزمنة بالغة القصر، ولو أننا سنشهد آثارها بطريق غير مباشر. إن معظم التفاعلات الكيميائية أحداث نادرة فعلا. فالجزيئات تتحرك دائما بصورة متقطعة، وتتصادم مع بعضها البعض مرات عديدة قبل أن تسمح لها صدفة نادرة سعيدة بأن تتصادم بقوة كافية وفي الاتجاه المضبوط فتتخطى حواجزها الواقية ويحدث التفاعل الكيميائي. ولكن هناك عادة في كل حجم صغير أعدادا كبيرة جدا من الجزيئات يفعل كل منها هذا الشيء نفسه في الوقت ذاته، فإن التفاعل الكيميائي يبدو وهو يمضي في سهولة حقا. إن التباينات المحتملة توازن نفسها بسبب الأعداد الهائلة من الجزيئات الداخلة في التفاعل.

فإذا ما عدنا مرة أخرى لمراجعة هذه المقاييس المتباينة جدا-الحجم بالغ الدقة للذرة، والحجم الذي لا يمكن تخيله للكون، ومعدل النبض في التفاعلات الكيميائية مقارنا بصحراوات الأبد اللانهائي منذ نشأة الكون-إذا ما عدنا لهذا فأننا سنلحظ في كل هذه الأمثلة أن حدسنا الشخصي-الذي يرتكز على خبرتنا في الحياة اليومية-سيكون في أغلب الظن مضللا للغاية. فالأرقام الضخمة في حد ذاتها لا تعني الكثير بالنسبة لنا. وهناك طريق واحد للتغلب على هذا القصور، وهو طريق طبيعي جدا بالنسبة لنا كبشر. وهذا ما علينا أن نحسب وأن نعيد الحساب، حتى ولو كانت حساباتنا تقريبية ثم أن نراجع انطباعاتنا الأولية ونعيد المراجعة، حتى نتمكن في تمهل، بمرور الزمن وبالتطبيق المستمر من أن نجعل العالم الحقيقي-عالم الأشياء الصغيرة للغاية والهائلة للغاية-مألوفا لنا ألفتنا للمهد البسيط لخبراتنا الدنيوية الأرضية المعتادة.

2 المهرجان الكوني

الآن، وبعد أن تعرفنا على الآماد التي سنتعامل معها في الفضاء والزمن-كبيرها وصغيرها-، فإن علينا أن نقدم وصفا تخطيطيا لما نعرفه عن نشأة الكون، وتكوين المجرات والنجوم، ثم أخيرا نشأة الكواكب التي تكون نظامنا الشمسي، حتى نستطيع أن نرسم معالم الظروف التي نشأت فيها الحياة، سواء على الأرض آو في أي مكان آخر بالكون.

وإذا كان من الصعب أن نتفهم نشأت الحياة لأنها حدثت منذ زمن بعيد جدا، فالمفروض إذا أن نشأت هذا الكون-التي سبقتها مؤكدا بوقت طويل- لا بد من أن تكون أكثر تعذرا على الفهم. وهذا ليس صحيحا تماما، لأن التفاعلات اللازمة لبدء أي نظام حي هي مجموعة متشابكة محدودة من كوكبة كبيرة غيرها من التفاعلات الممكنة في بيئة لا متجانسة لحد بعيد، أما في المراحل الأولى لنشأة الكون عند الانفجار الهائل فقد كانت الأشياء كلها وثيقة الاختلاط حتى ليمكن القول بأن أهم ما كان يسود العملية عندئذ هو الخطوط العريضة للتفاعلات، فذا يفترض أن يكون تفهمها أقرب منالا.

وترتكز المناقشات الحديثة عن أصل الكون-كلها تقريبا-على نظرية الانفجار الهائل Big Bang. وهذه

تفترض أنه في المراحل الأولى، التي يمكننا التفكير فيها تفكيرا مجديا، قد تكون مادة الكون كلها تشغل حيزا صغيرا بالفعل، وكانت على درجة حرارة عالية جدا. وقد كانت هذه الكرة الملتهبة البدائية تتمدد بسرعة كبيرة، وكانت تبرد أثناء تمددها. وقد كتب ستيفن واينبرج* كتابا ممتازا يشرح فيه للقارئ العام أنواع التفاعلات التي يرجح حدوثها في الدقائق الثلاث الأولى.

وتتبني الصورة من معارفنا الحديثة عن الجسيمات الأساسية للمادة والإشعاع، بجانب البعض القليل من الحقائق التجريبية، مثل خلفية الإشعاع الكوني الذي ينتشر الآن عبر الفضاء كله-همس الخليقة الخافت الذي يسمع بالكاد بالتلسكوبات اللاسلكية-ومثل هذا التكوين الخيالي لا يكون-بم الضرورة-مأمونا تماما. ويعترف واينبرج بشعور بالاصطناع يخامره أحيانا عند الكتابة عنه. أما أهم الحقائق الأخرى المعروفة التي نحتاج إليها لبناء النظرية فهي تمدد الكون الذي تبينه الإزاحة الحمراء الشهيرة، وكذا ذلك الفيض الهائل في كوننا اليوم من جسيمات الإشعاع الكهرومغناطيسي (الفوتونات) مقارنة بجسيمات المادة (الباريونات baryons) (تبلغ النسبة 10^9 - أي بليون-إلى واحد)، بجانب الندرة النسبية للعناصر الثقيلة. فحتى في كوننا الحالي سنجد أن 99٪ من الذرات موجود في صورة هيدروجين وهليوم، أخف عنصرين، والأول منهما أكثر شيوعا. ومن كل هذه الحقائق تمكن الفيزيائيون النظريون من أن يستنبطوا أنه بعد واحد من مائة من أول ثانية (وهذا أمر أبعد في الشك) أصبحت الكرة الملتهبة مزيجا متشابكا من الإشعاع والمادة يتفاعل بسرعة وبعنف في درجة حرارة رهيبة تبلغ نحو 10^{11} درجة، ويتمدد بسرعة بالغة. كانت الحرارة أعلى من أن تسمح للذرات بالوجود، وأعلى حتى من أن تسمح للنوى المعقدة للذرات ((أي مراكزها المكثفة) من أن تترابط. وبتمدد الكرة النارية ابتدأت تبرد، لتمر بمراحل متعددة في توال سريع، تحدث في كل منها عمليات معينة بنسب أدنى وأخرى بنسب أعلى، بسبب انخفاض الحرارة في كل مرحلة عن المرحلة السابقة لها.

---

*Weinberg, Steven, The first three Minutes New York: Basic Books, Inc., 1977

وفي نهاية الأمر، وبعد نحو ثلاث دقائق، أصبحت الحرارة 10^9 درجة فقط، وهنا يمكن أن تشكل بعض النوى الخفيفة ثم تبقى دون أن تحطم- كنوى التريتيوم والهليوم-وبعد ما يقرب من نصف ساعة انخفضت درجة الحرارة إلى 350 مليون درجة-أي 20 ضعفا فقط من حرارة جوف الشمس- وعندئذ توقف تخليق نوى جديدة. وفي المليون سنة التالية استمر الكون يتسع ويبرد حتى تمكنت النوى من أسر الإلكترونات لتكون ذرات ثابتة. ثم أخذت المادة في التكثيف إلى مجرات ونجوم.

وبسبب حدوث هذا الانفجار الكوني الأول استمر العالم منذ ذلك الوقت في الاتساع. أما استمراره في التمدد إلى مالا نهاية أو تباطؤه حتى يتوقف ويرتد على نفسه فيعتمد على ضخامته نفسها. فكما يسقط الحجر مرتدا إلى الأرض إذا ألقى به عاليا في الهواء، إلا إذا دفع به في سرعة يهرب بها تماما من الجاذبية، فكذلك الكون، سيظل يتسع إلا إذا كانت كتلته من الضخامة بحيث توقف الجاذبية هذا التمدد في نهاية الأمر وتعكسه. فإذا كان الأمر كذلك، ففي وقت ما في المستقبل البعيد سينهار هذا الكون على نفسه في واقعة مأساوية أخرى. كان من المسلم به أن الكثافة المقدرة للكون أصغر من أن تسمح بهذا-والكثافة الحرجة تعادل نحو ثلاث ذرات هيدروجين في كل لترمن الفراغ-غير أنه يظن الآن أن هذه الجسيمات الصغيرة عديمة الشحنة-المسماة «النيوترينو»-والمنتشرة في الكون بأسره، والتي كان يظن سابقا أنها كالضوء بلا وزن، هذه الجسيمات ربما كانت لها كتلة محددة وإن كانت صغيرة جدا. فإذا كان الأمر كذلك فقد يكون بالكون من هذه الجسيمات ما يمنعه من التمدد حتى الأبد.

ربما كان أهم الاستنباطات من وجهة نظرنا المحدودة هو أنه لم يتشكل من العناصر بكميات معقولة-في المراحل الأولى لنشأة الكون-إلا أخفها وزنا، بالرغم من الكثافة العالية والحرارة المرتفعة. ونتيجة ذلك لم تكن العناصر اللازمة لنشأة الحياة-باستثناء الهيدروجين-قد تكونت بعد، ونقصد بالذات عناصر الكربون والنيتروجين والأكسيجين والفسفور. ويعضد هذا الاستنباط الملاحظات بالمطاف التي تبين أن أقدم النجوم بها من هذه العناصر أقل مما في النجوم الأحدث منها وجودا.

ثم عتمت تفاصيل الصورة بعض الشيء بعد المليون سنة الأولى، فنحن

لا نستطيع أن نعطي إجابة شافية على أسئلة عن: كيف أمكن لهذه الكرة النارية التي تتمدد، والتي يفترض أن شكلها أقرب إلى الانتظام، أن يتزايد اتساعها أكثر لتنتج تلك التجمعات متباينة الخواص من المادة، التي نشهدها الآن في شكل مجرات ؟. كيف تكونت الأنماط المختلفة من النجوم ؟. غير أننا نستطيع أن نعطي فكرة تخطيطية عن بعض العمليات.

كانت الجاذبية تلعب دورا صغيرا في المراحل الأولى من نشأة الكون. ولكنها بدأت الآن في تقلد دور أكثر سيطرة. فالجاذبية بوجه عام قمينة بأن تجعل المادة تتشكل في صورة كتل تجذب إليها كتلا غيرها، لينتج من ذلك في نهاية الأمر تجمعات أكبر وأكبر. ونتيجة هذا التراكم والتكثيف ترتفع درجة الحرارة حتى تصبح المادة مضيئة. وأخيرا تصل الحرارة في التجمعات الكبرى من المادة إلى درجة تتسبب في بدء التفاعلات النووية. وهكذا ينشأ نجم.

ومن هنا فصاعدا ستمنع الحرارة الناتجة عن الاندماج النووي النجم من الانهيار، إذ لو ابتدأ النجم في الانهيار فإن درجة حرارته سترتفع، وستسرع فيه التفاعلات النووية، ويتسبب الضغط الناشئ عن ذلك في أن يتمدد النجم بعض الشيء لتصحيح الانهيار في بدايته. وتعمل هذه الآلية كمنظم يسمح للنجم بأن «يحترق» في هدوء لملايين بل لبلايين عديدة من السنين.

وعلى المدى الطويل لابد من أن ينفد الوقود النووي من النجم، وتشير الحسابات إلى أن النجوم الكبرى تحترق بسرعة أعلى، بينما تحترق النجوم متوسطة الحجم (كالشمس) بشكل أبطأ، أما النجوم الصغيرة فيكون احتراقها بطيئا حقا. فإذا بلغت كتلة النجم عشرة أضعاف كتلة الشمس احترق بسرعة تبلغ مائة ضعف سرعة احتراق الشمس. أما ما يحدث عند بداية نفاد الوقود الذري فهو أمر بالغ التعقيد، ويعتمد كثيرا على كتلة النجم، فعملية الاندماج النووي قد تنتج مواد مثل الكربون والنيتروجين من الهيدروجين والهليوم. وهنا قد يحاول النجم آن يستخدم هذه المواد الأثقل كوقود لينتج من ذلك عناصر أكثر ثقلا. ولكن لابد في آخر المطاف من أن نصل إلى مرحلة لا يتبقى فيها عناصر تتمكن عمليات تحويلها من تزويد النجم بما يكفيه من الطاقة. عندئذ تصبح اليد العليا لقوى الجاذبية التي كانت تقيدها الحرارة المولدة من العمليات الذرية، فينهار النجم على نفسه.

أما كيف يحدث هذا بالضبط فيتوقف مرة أخرى على حجم النجم وطبيعة مكوناته. والنجوم الصغرى ستنتهي على الأغلب كأقزام بيضاء لتختفي عن النظر رويدا رويدا. أما النجوم الكبيرة فقد يكون انهيارها من السرعة حتى لينفجر النجم بالمعنى الحرفي للكلمة. لافظا في الفضاء نصف ذاته وناشرا مادته بسرعة فائقة في كل اتجاه. وخلال الانفجار نفسه سينتج الكثير من العناصر الأثقل من الحديد (وهي ليست بالفعل وفيرة).

ومثل هذا الانفجار المأساوي يسمى «سوبرنوفا» Supernova، وسوف يسطع النجم لبضعة أيام بشكل غاية في الوضوح. وعندما حدث هذا النجم في مجرتنا سنة 1604 تسبب في إثارة بالغة. وما زال في إمكاننا أن نلحظ بقايا سوبرنوفا أقدم من هذه رصدها الفلكيون الصينيون سنة 1054، فما زالت السحابة الهائلة من الغاز المضيء التي نسميها «سديم السرطان» Crab Nebula تتمدد بسرعة، بل يمكننا أيضا أن نشاهد بقايا النجم في قلب السديم وقد تحول إلى «نابضPulsar» (أي نجم نيوتروني دائر).

لقد كانت مثل هذه الانفجارات هي المصدر الرئيس لمعظم العناصر التي يحتويها جسمك (باستثناء الهيدروجين). إن الفرد منا ليجتاحه إحساس غريب عندما يعرف أن معظم الذرات التي يتكون منها جسده لم تكن قد شكلت عند بدء الوجود، وإنما كان من الضروري أن تطهى داخل نجم، ثم تنثر في الفضاء.

كيف تتكون الكواكب إذا؟ سنتفحص هذا الموضوع بتفصيل أكثر قليلا في الفصل الثامن، أما الآن فسنكتفي بتخطيط الخلفية. إذا ما دققت النظر بالتلسكوب في تعقيدات مجرتنا فستلحظ أن الكثير منها تحجبه سحابات هائلة من الغاز والغبار، بعضها منتشر جدا وبعضها أقل انتشارا، وإن كانت جميعا غير واضحة بمقاييسنا الأرضية. تتكون جسيمات الغبار- وهي في حجم جسيمات دخان سيجارتك-تتكون على الأرجح من أجزاء دقيقة من الحديد والصخر والثلج ومركبات الكربون، مختلط بعضها ببعض. ولعله من المثير للدهشة أن نعرف أنه قد أمكن اكتشاف أكثر من خمسين نوعا من الجزيئات العضوية الصغيرة تسبح في هذه السحابات الغازية، لاسيما في السحابات ذات الكثافة العليا (حيث يقل الضوء فوق البنفسجي الذي يدمر هذه الجزيئات)، ولو أن كتلتها-بأجمعها-لا تشكل أكثر من جزء واحد من مليون جزء. وهذه الجزيئات نشيطة كيميائيا، ومنها جزئيات

سيانيد الهيدروجين (H.C.N) والفورمالدهيد(H.C.H.O). أما حجم الدور الذي تلعبه بالضبط هذه المقادير الهائلة من الجزيئات المختلفة المبعثرة في الفضاء في نشوء الحياة، فهو شيء غير محدد، ولو أن دورها المباشر على الأغلب لم يكن رئيسا. ولم يتمكن أحد حتى الآن من أن يكتشف هناك الجزيئات الصغيرة التي تشكل أساس الحياة (انظر الفصلين الثالث والخامس)، نقصد الأحماض الأمينية والسكريات والقواعد.. . الخ، ولو أن البعض منها يمكن أن يخلق بسهولة من الجزيئات الموجودة فعلا في الفضاء. وهناك بعض التخمينات عن نوع التفاعلات التي يحتمل أن تكون قد حدثت في المذنبات وغيرها من الأجرام الصغيرة في النظام الشمسي.

والمعتقد أن شمسنا قد نشأت هي وكواكبها عن تكثف سببته الجاذبية لسحابة بطيئة الدوران من هذا النوع العام. أما كيف حدث هذا بالضبط فلا يزال موضع خلاف. وبشكل عام، فبانهيار السحابة تزايدت سرعة دورانها (للمحافظة على العزم الزاوي angular momentum) لتتحول إلى قرص يتحول مركزه في نهاية الأمر ليصبح الشمس، أما بقية الحزم الصغيرة من المادة فتتكاثف لتكون الكواكب والكويكبات. وسنعود لنفحص هذه العملية بشكل أوسع في الفصل الثامن.

ولابد من أن معظم هذه السحابة كانت من الهيدروجين والهليوم، لأن هذين هما أكثر العناصر وفرة في الشمس، ولكن الأرض كوكب قريب جدا من الشمس، وهو ليس من الضخامة بحيث يستبقي مثل هذه العناصر الخفيفة بجاذبيته الضعيفة نسبيا، ولذا فالأغلب أنهما فقدا في الفضاء. (لا تزال الكواكب الأكبر حجما الأبعد تحوي الكثير منهما). أما الأرض-بجوفها المكون من الحديد وبقشرتها الجامدة المكونة من العناصر الأخف-فقد تكونت من رماد كواكب أقدم. والغلاف الجوي الذي نعيش فيه هو مجرد قشرة رهيفة من المادة على سطح كوكب صغير نسبيا لنجم متوسط الحجم.

وأهم ما يمكننا استنباطه من هذا العرض المختصر جدا هو أن الحياة كما نعرفها لم تكن لتظهر بعد فترة قصيرة من نشأة الكون، لأن العناصر اللازمة لظهورها لم تكن عندئذ موجودة، فالأمر يحتاج إلى فترة تبالغ بليون سنة أو بليونين-وربما أكثر قبل أن يمر عدد كاف من النجوم الكبيرة بدورة الحياة المفترضة، لتنفجر وتوفر الذرات اللازمة للحياة العضوية.

كان على هذه الذرات أن تتجرف لينشأ عن حطامها نجوم وكواكب جديدة. ولكنا للأسف لا نعرف بالضبط مدى سهولة هذه العملية، ولذا فلن نستطيع أن نتأكد-على أسس نظرية-من تقدير عدد النجوم التي قد يكون لها كواكب تدور حولها، ولو أن هناك بعض الشواهد غير المباشرة سنوضحها في الفصل الثامن.

دعنا نعد مرة أخرى وباختصار الأحجام والأزمنة التي تهمنا. يبلغ قطر النظام الشمسي نحو جزء واحد من خمسة عشر جزءا من السنة الضوئية. ويبعد أقرب النجوم ألينا بمقدار 4,3 سنة ضوئية. وهناك نحو مائة نجم داخل عشرين سنة ضوئية حولنا. ومجرتنا عبارة عن قرص من النجوم والغبار والغاز، قرص غير منتظم يدور ببطء، يعبره الضوء في مائة ألف سنة ضوئية، ويحوى نحو 10^{11} نجم. وأقرب المجرات منا هي مجرة أندر وميدا، وهي أكبر بعض الشيء من مجرتنا، وتبعد عنا نحو مليوني سنة ضوئية، وليس بيننا وبينها إلا القليل جداً جداً من الأشياء (إذا طرحنا جانبا النيوترينوات والفوتونات)، ولو أن هناك بضع مجرات أصغر في المنطقة المجاورة لنا عموما. ووراء ذلك يتسع الكون في كل الاتجاهات لمسافة لا تقل عن ثلاثة بلايين سنة ضوئية، ويضم عددا قد يصل إلى 10^{11} مجرة من مختلف الأشكال والأحجام.

ويبلغ عمر الأرض وبقية النظام الشمسي نحو4,5 بليون سنة. أما الزمن الذي مر منذ نشأة الكون فلا يمكن تحديده بنفس هذه الدرجة من الدقة، ولكنه على الأرجح يتراوح بين 7 و15 بليون سنة. ولم يكن هناك تقريبا أي من العناصر الثقيلة عند بدء الكون، ولكن ظهرت منها كميات محسوسة بعد بليون سنة أو نحو ذلك.

3 التناسق في الكيمياء الحيوية

إن مشكلة نشأة الحياة في أساسها مشكلة كيمياء عضوية-كيمياء مركبات الكربون-ولكنها كيمياء عضوية داخل إطار غير عادي. فالكائنات الحية، كما سنرى، محددة التفاصيل على مستوى الذرات والجزيئات، برهافة ودقة لا تصدقان، ولابد من أنها كانت عند البداية جزيئات تطورت لينتج منها أول النظم الحية. ولأن الحياة بدأت على الأرض منذ زمن طويل جدا، قد يبلغ نحو أربعة بلايين سنة، فإنه سيصعب علينا أن نكتشف ما كانت عليه الكائنات الحية الأولى. وكل الكائنات الحية على وجه الأرض-دون استثناء-مبنية على الكيمياء العضوية-ومثل هذه الكيماويات ليست ثابتة على المدى الزمني الطويل تحت درجات الحرارة السائدة على سطح الأرض. وستسبب الصدمات المستمرة لحركة الحرارة على مدى بلايين السنين-في النهاية-تفكك الروابط الكيماوية القوية التي تحكم ربط الذرات في الجزيء العضوي في الفترات الأقصر، طول حياة الإنسان مثلا، ولهذا السبب يكاد يكون من المستحيل أن نجد «حفريات جزيئيه» من هذه الأزمنة الأولى.

قد تكون المعادن أكثر ثباتا-على الأقل-بشكل عام.

ويرجع ذلك أساسا إلى أن لذراتها روابط قوية تشكل تراكيب منتظمة ثلاثية الأبعاد، ولذلك فإن سقوط رابطة مفردة لن يغير كثيرا من شكل المعدن. ولكننا نجد الحفريات بوفرة داخل صخور رسبت منذ زمن يزيد قليلا عن نصف بليون سنة، أي في الوقت الذي تطورت فيه الكائنات بما يكفي لظهور أجزاء صلبة بها. ومثل هذه الحفريات لا تكون عادة من المادة الأصلية لهذه الكائنات، وإنما من ترسبات معدنية تخللتها، واتخذت شكلها. ولذا فإننا نفقد عادة شكل الأجزاء اللينة، ولو أن آثار بعضها كالثقوب التي تصنعها الديدان، قد تبقى محفوظة أحيانا، شاهدة على مواطئ أقدامها على صخور الزمن.

هل هناك حفريات أقدم من تلك؟ أوضح الفحص الميكروسكوبي المدقق لهذه الصخور القديمة أنها تحوي تراكيب صغيرة تشبه البقايا الحفرية لكائنات بسيطة جدا، تكاد تشبه بعض الكائنات وحيدة الخلية الموجودة على الأرض الآن، وهذا شئ معقول جدا. فنحن نتوقع أن تنشأ-خلال عملية التطور الكائنات عديدة الخلايا عن الكائنات وحيدة الخلية. وبالرغم من وجود بعض الخلافات حول التفاصيل، فإن الأقدم من مثل هذه الكائنات قد أرخ ظهوره بزمن يبالغ نحو 2,5- 3,5 بليون سنة خلت. وعمر الأرض يبلغ نحو 5, 4 بليون سنة، والمفترض أنه بعد انتهاء الاضطراب الأولى الذي صاحب نشأة الأرض، بدأت فترة استمرت نحو بليون سنة، يمكن فيها أن تتطور الحياة من الكيمياء المعقدة على سطح الأرض، لاسيما في المحيطات والبحيرات والغدران. وليس لدينا آي حفريات من هذه الحقبة، لأننا لم نعثر بعد على أي جزء محفوظ من الصخور الرسوبية لهذا الزمن.

وليس لدينا إلا طريقان للاقتراب من هذه المشكلة. فنحن نستطيع داخل المعمل أن نحاكى هذه الظروف الأولى. ولأن الحياة هي على الأرجح مجرد حادثة سعيدة يعتقد أن قيامها قد استغرق ملايين عديدة من السنين حتى في المعمل الأكبر على سطح الأرض، فليس من المستغرب إذا أن مثل هذه الأبحاث لم تتقدم كثيرا، ولو أنها قد أحرزت بعض التقدم. كذلك يمكننا أيضا أن نفحص بدقة كل الكائنات الحية الموجودة ألان، فلأنها جميعا قد انحدرت من بعض الكائنات البسيطة الأولى، فإننا نأمل أن تكون مازالت محتفظة ببعض آثار أقدم الكائنات الحية.

قد يبدو من النظرة الأولى أن هذا الأمل مناف للعقل. فماذا يا ترى قد يجمع بين الزنبقة والزرافة ؟ فيم نتوقع أن يشترك الإنسان مع البكتريا الموجودة بأمعائه ؟ ربما يتساءل الفيلسوف الساخر عندما يرى أن كل الكائنات الحية إما آكلة وإما مأكولة-أو ليس هذا على الأقل شيئا يجمعها؟. والعجيب أن هذا قد ثبتت صحته. إن وحدة الكيمياء الحيوية أكبر وأكثر تفصيلا مما افترض حتى منذ مائة عام فقط. فالتباين الهائل في الطبيعة-الإنسان، والحيوانات، والنباتات، والكائنات الحية الدقيقة، بل حتى الفيروسات-كل هذا يبنى، على المستوى الكيماوي، على تصميم أساسي مشترك. أما ما يجعل من الصعب علينا، في حياتنا اليومية، أن ننفذ خلف المظاهر المرئية ونتعمق إلى توحدها، فإنما يرجع إلى التنويع الرائع لهذا التصميم الشائع، التنويع الذي نشأ عن الانتخاب الطبيعي على مدى أجيال وأجيال لا تعد ولا تحصى. فعلى الرغم من كل هذه التباينات، فنحن نستعمل لغة كيماوية واحدة، أو إن شئت الدقة-كما سنرى-لغتين كيمياويتين وثيقتي الصلة.

ولكي نتفهم وحدة الكيمياء الحيوية فلابد من أن نتفهم أولا وبطريقة عامة جدا كيف تتم التفاعلات الكيماوية داخل الكائن الحي. ويمكننا أن نتصور الخلية الحية كمصنع كيماوي معقد للغاية محكم التنظيم، مصنع يتناول مجموعة من الجزيئات العضوية-أي الغذاء-ليحللها إذا لزم الأمر إلى وحدات أصغر، وحدات يقوم بإعادة ترتيبها وتجميعها-عادة في عدد من الخطوات الحكيمة-ليصنع منها عددا كبيرا من جزيئات صغيرة أخرى، يطرد البعض منها، ويستعمل البعض الآخر في تخليقات أخرى. المهم أنه يقوم بوصل مجموعات معينة من هذه الجزيئات الصغيرة في شكل سلاسل طويلة، عادة ما تكون غير متفرعة، ليصنع بذلك أهم الجزيئات العملاقة بالخلية، نقصد العائلات الكبرى الثلاث من الجزيئات العملاقة: الأحماض النووية، والبروتينيات، والسكريات المتعددة.

إن أول مستوى من التنظيم سنناقشه هو المستوى الأدنى-نقصد المستوى الذي تترابط فيه الذرات لتشكل الجزيئات الصغيرة. والذرة المفردة شئ متناسق للغاية، وشكلها كروي تقريبا، وإذا نظرت إليها في المرآة فسترى لها الشكل نفسه شأنها في ذلك شأن كرة البلياردو. أما التراكيب الأعقد فقد يكون لها ما يسمى ب «التأيد»، ولعل في أيدينا المثال الجيد. فإنك إذا

نظرت إلى يدك اليمنى في المرآة فسترى يدا يسرى، والعكس بالعكس. ويمكنك أن تقابل بين كفيك مفتوحتين-كما تفعل عند الدعاء-ولكن هذا يشبه وضع مرآة بينهما. وليس هناك من طريقة يمكن بها أن نبسط واحدة منهما فوق الأخرى تماما، ولا حتى في خيالنا.

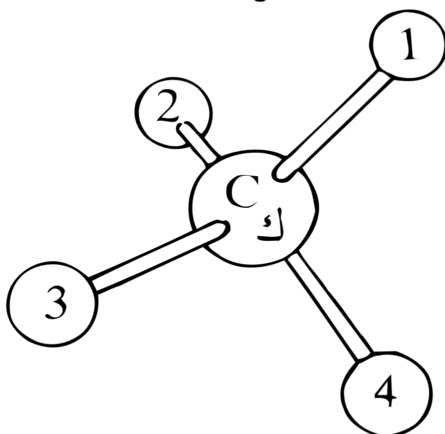
وبعض الجزيئات العضوية البسيطة كالكحول ليس لها «يد»، فهي متطابقة مع صورتها في المرآة، تماما مثل الكوب. ولكن هذا ليس صحيحا بالنسبة لمعظم الجزيئات العضوية. فإذا نظرت إلى السكر الموجود على مائدة إفطارك باديا في المرآة فستجد تجمعا من الذرات مختلفا بشكل ملحوظ. وهذا الاختلاف ليسر مهما بالنسبة لأي ضرب من التفاعلات الكيماوية. فإذا سخنا مثل هذا الجزيء وتمكنا من مراقبة تزايد تذبذبه الجزيئي حتى تتكسر إحدى روابطه، فإننا نستطيع أن نلحظ أن الحركات النسبية للذرات ستكون هي نفسها فيما لو تخيلنا رؤية صورة هذه العملية في المرآة. إن التفاعلات الكيماوية الأساسية متناظرة مع صورتها المنعكسة في المرآة إلى حد كبير جدا من التقريب، ويصبح الاختلاف في «اليد»-أي التأييد-مهما إذا كان من اللازم أن يتوافق جزيئان. ويمكننا أن نتفهم ذلك إذا تأملنا تصنيع القفاز. فكل مكونات القفاز-النسيج، خيوط الحياكة وحتى الأزرار كلها، مفردة، لها نفس الصورة في المرآة، ولكنها تصنع بطريقتين متشابهتين وإن كانتا مختلفتين، ينتج من إحداهما «فرد» أيمن ومن الأخرى «فرد» أيسر، ونحن بالطبع نحتاج «الفردين» لأن لنا يدين مختلفتين. فأنت لا تستطيع بسهولة أن تلبس «فردا» أيسر في يدك اليمنى.

وينشأ الإبط عن أشكال الجزيئات اللامتناظرة هذه عندما ترتبط ذرة كربون مفردة بروابط أحادية مع أربع ذرات أخرى مختلفة، ذلك لأن الروابط الأربع لذرة الكربون لا توجد جميعها على المستوى نفسه، ولكنها توجد على مسافات متساوية في الأبعاد الفراغية الثلاثة، وتتجه بالتقريب ناحية أركان شكل رباعي منتظم ذي أربعة أوجه مثلثة (تتراهدرون) tetrahedron.

وعلى هذا، فالجزيئات العضوية، أي التي تحتوي على ذرات كربون، عادة ما تكون متأيدة، حتى وإن كانت صغيرة، غير أننا نحتاج إلى أن نعرف أهمية هذا التأييد في الخلية. السبب الأساسي هو أن الجزيء الكيماوي الحيوي لا يوجد في معزل عن غيره. إنه يتفاعل مع جزيئات أخرى، فكل

تفاعل كيماوي له حافز (وسيط) خاص به يسرعه. ولكي يتفاعل الجزيء الصغير بهذه الطريقة، فلابد من أن يتراكب تراكبا دقيقا مع سطح الحافز، ولأن الجزيء الصغير له «يد» فلابد من أن يكون للحافز أيضا «يد». وتماما كحكاية القفاز، فلن يمضي التفاعل بالشكل المضبوط إذا حاولنا أن ندس جزيئا أعسر (أيسر) في فراغ مهيأ لجزيء أيمن اليد.

شكل (١)

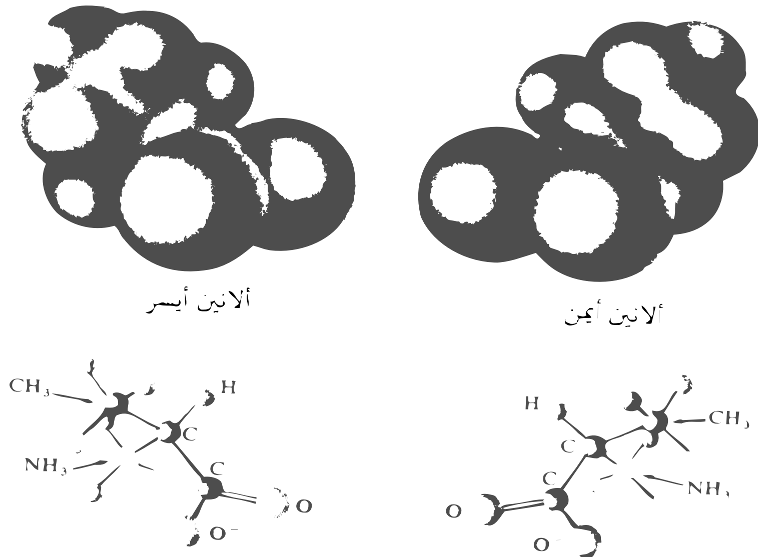


التوزيع الفراغي للروابط الأربع حول ذرة الكربون

تخيل أنك تستطيع أن تراقب هذا المصنع الكيماوي الدقيق وهو يعمل، وأن تشاهد فيه كل التفاعلات المتعددة، فترى الجزيئات وهي تنتشر بسرعة من مكان إلى آخر، لتوفق وضعها فوق جزيئات الحوافز المختلفة، وتراها وهي تتفكك، وتركب، وتعيد التجمع وتتفاعل بطرائق مختلفة كثيرة. ثم تخيل أنك تراقب مصنعا هو صورة مرآة مضبوطة من المصنع الأول. إنك سترى كل شئ يسير بالضبط كالمصنع الأول، لأن قوانين الكيمياء نفسها تعمل أيضا في المرآة. بيد أن المشاكل تبدأ عندما تحاول أن تضم المصنعين، بأن تخلط بعض مركبات واحد منهما بمركبات من عالم المرآة. وبذا يمكننا أن نفهم السبب في ضرورة انسجام تأيد الجزيئات اللامتناظرة الكثيرة، الكبير منها والصغير، داخل الكائن الحي الواحد. وهناك أيضا من الحقائق التجريبية ما يقول إن الجزيئات اللامتناظرة الموجودة في جانبك الأيمن لها بالضبط

نفس تأيد الجزيئات في جانبك الأيسر. ولكن، ألا يمكن أن يكون هناك نمطان متميزان من الكائنات يكون أحدهما صورة مرآة من الآخر، على الأقل، بالنسبة للمكونات ؟ هذا ما لم يجده أحد أبدا. فليس هناك مملكتان منفصلتان في الطبيعة، واحدة ذات «يد» يمنى والأخرى هي صورتها المرآوية. فللجلوكوز «اليد» نفسها حيثما كان. والأهم أن الجزيئات الصغيرة التي تتصل خيطيا مع بعضها البعض لتكون البروتينيات-أي الأحماض الأمينية-هذه الجزيئات كلها يسارية (وصورتها في المرآة أحماض أمينية يمينية). كما أن السكريات في الأحماض النووية كلها ذات «يد» واحدة. إن المبدأ الأول الأعظم من مبادئ التوحيد البيوكيمياوي هو أن كل الجزيئات الأساسية لها «اليد» نفسها في كل الكائنات الحية.

شكل (٢)

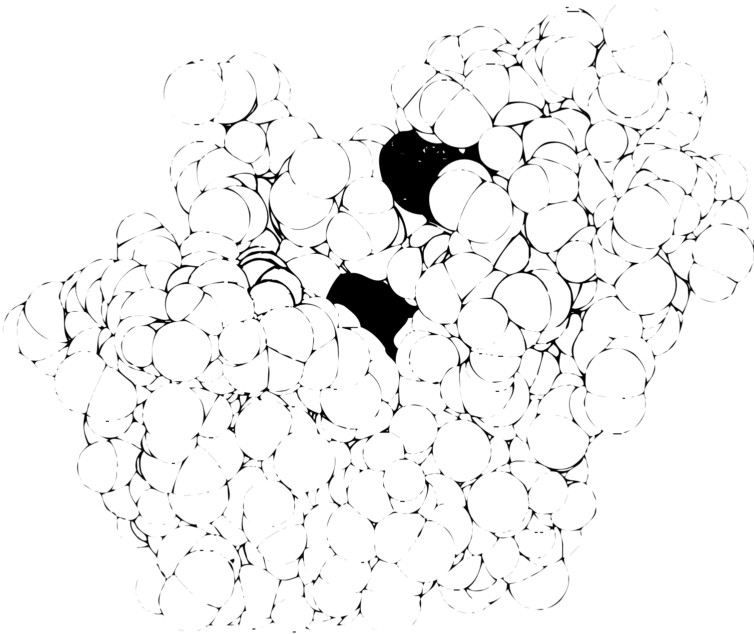


شكلا الحمض الأمي «ألانين». كل منهما صورة الحمض الآخر في المرآة. ويظهر الشكلان العلويان في صورة نمطين مجسدين في الفراغ، أما الشكلان السفليان فيظهران الحمض في صورة ذات كرات ومحاور، والحروف تمثل الذرات.

وشكل الألانين الذي نجده في البروتين أيسر (أشول) وممثله النمطان الموجودان على اليسار في الشكل.

هناك الكثير من الملامح البيوكيمياوية الأخرى التي تتشابه فيها الخلايا كلها بطريقة مذهلة. فالمسالك الأيضية، أي الطرائق المحددة التي يحول بها جزء صغير إلى آخر، كثيرا ما تكون متشابهة بشكل مدهش، ولو أنها ليست دائما متطابقة، وهكذا أيضا سنجد بعض الملامح التركيبية. ولكن التماثل يكون أكثر إدهاشا على المستويات التنظيمية الأعمق، وهو مدهش لأنه يكون هناك عشوائيا وكاملا معا.

شكل (٣)



نموذج ذري لبروتين صغير هو إنزيم ريبونيوكلييز S. الذرات المظللة تشكل جزءا من الموقع النشيط للإنزيم، ويكون الإنزيم في العادة محاطا تماما بجزيئات الماء.

يعتمد قدر كبير من تركيب الخلية ومن آلية الأيض بها على عائلة واحدة من الجزيئات: عائلة البروتينات. وجزيء البروتين جزيء عملاق، يصل عدد ذراته إلى الآلاف. ويصنع كل بروتين بدقة كل ذرة فيه في مكانها

المضبوط. ولكل نوع من البروتينات تركيب متفرد معقد ذو ثلاثة أبعاد، تركيب يسمح له بأن يقوم بوظيفته كحافز أو بوظيفته البنائية. ويتكون هذا التشكيل ثلاثي الأبعاد عن طريق طي تشكيل أساسي ذي بعد واحد يبنى على واحدة أو أكثر مما يسمى بالسلاسل الببتيدية. ويتكون توالي الذرات على طول هذا العمود الفقاري من نموذج يتألف من ست ذرات، يتكرر ويعاد تكراره مرة بعد أخرى. ويحدث التنوع عن طريق السلاسل الجانبية بالغة الصغر التي تبرز من العمود الفقاري، واحدة مع كل تكرار. ويحوي العمود النموذجي مئات من هذه السلاسل.

ليس هناك ما يثير الدهشة في أن تبنى الآلية التخليقية للخلية هذه السلاسل البوليببتيدية عن طريق وصل أطراف مجموعة معينة من الجزيئات الصغيرة: الأحماض الأمينية وكل هذه الأحماض متشابهة عند أحد طرفيها- الطرف الذي سيشكل العمود الفقاري المتكرر، ومتباينة في الطرف الآخر- الطرف الذي يكون السلاسل الجانبية الصغيرة. أما المدهش بالفعل فهو أن هناك عشرين نوعا فقط من هذه الأحماض تستخدم في صناعة البروتين، ومجموعة العشرين هذه هي هي خلال الطبيعة كلها. صحيح أن هناك أنواعا أخرى من الأحماض الأمينية، ويمكن أن نجد بعضا منها داخل الخلية، ولكن مجموعة العشرين حمضا هذه هي وحدها التي تستخدم في بناء البروتين.

والبروتين يشبه فقرة كتبت بلغة ذات عشرين حرفا، أما الطبيعة المحددة للبروتين فيحددها التوالي المضبوط للحروف. ولا تختلف الحروف أبدا، اللهم إلا استثناء واحدا تافها. فالحيوانات والنباتات والكائنات الحية الدقيقة والفيروسات كلها تستخدم نفس هذه المجموعة من العشرين حرفا، على الرغم من أننا نستطيع القول إنه كان من الممكن أيضا أن نستخدم غيرها من أحرف بديلة، تماما كما كان من السهل أن نستخدم رموزا أخرى لأبجديتنا. وبعض من هذه الحروف الكيماوية له مزاياه الواضحة، فهي صغيرة وفي المتناول، أما بعضها الآخر فليس هكذا. فإذا ما وجدنا أن كل ما يطبع في العالم يستخدم مجموعة بعينها من الحروف (وهذا كما نعلم لا يمثل الواقع) فإن لنا أن نستنبط أن حروف الكتابة المستخدمة قد نشأت على الأغلب في مكان معين، وأنها انتشرت عن طريق النسخ المستمر. ويصعب ألا نصل إلى

هذا الاستنباط نفسه بالنسبة للأحماض الأمينية. إن مجموعة العشرين لها من الانتشار ما يجعلنا نعتقد أن اختيارها لابد من أن يعود بنا قريبا جدا من بدء الحياة. تستخدم الطبيعة لغة كيماوية جد مختلفة، لغة هي أيضا منتظمة تماما، إذ تحمل البيانات الوراثية لأي كائن حي في واحدة من عائلتين وثيقتي الصلة من جزيئات السلاسل العملاقة وهي الأحماض النووية (D.N.A و N.A R)، التي سوف نصفها بتفصيل أكثر في الفصل الخامس. ولكل من هذه الجزيئات عمود فقاري بالغ الطول له تركيب مطرد متكرر. وهناك أيضا مجموعة جانبية تتصل بالعمود الفقاري على فترات منتظمة، غير أن منها هنا أربعة طرز فقط، فاللغة الوراثية لها أربعة حروف فقط. ويبلغ طول الفيروس النمطي الصغير، كفيروس شلل الأطفال، نحو خمسة آلاف حرف، والرسالة الوراثية في خلية البكتيريا بها عادة بضعة ملايين من الحروف، أما طول الرسالة في الإنسان فيبلغ بضعة بلايين، معبأة في مركز كل خلية من خلايانا العديدة.

كان حل الشفرة الوراثية واحدا من أهم الكشوف البيولوجية التي تمت في الستينات، ونقصد بالشفرة ذلك القاموس الصغير الذي يشبه من ناحية المبدأ شفرة مورس المستخدمة في إرسال البرقيات، والذي يربط اللغة ذات الحروف الأربعة للمادة الوراثية باللغة ذات العشرين حرفا الخاصة بالبروتينيات، أي اللغة التنفيذية. وقد فصلنا هذا في الملحق بهذا الكتاب.

ولكي تترجم الرسالة الوراثية على امتداد جزء معين من الحامض النووي، تقوم الماكينة البيوكيمياوية بقراءة توالي المجموعات الجانبية، في مجاميع من ثلاثة حروف بدءا من نقطة محددة. ولأن لغة الحامض النووي لها أربعة حروف محددة فقط فهناك أربع وستون ثلاثية ممكنة (4 x 4 x 4) (تسمى الكودونات) واحد وستون منها تمثل حامضا أمينيا أو آخر، أما الثلاثيات الثلاث الباقية فتشير إلى نهاية السلسلة (أما الإشارة إلى «بداية السلسلة» فهي شئ أكثر تعقيدا).

إن الطبيعة المحددة للشفرة الوراثية لها من الأهمية في علوم الحياة مثل ما لجدول مند ليف[1] الدوري للعناصر في علم الكيمياء. ولكن هناك

---

(1) أدرج الكيميائي الروسي «ديمتري إيفانوفتش منديليف» عناصر المادة المعروفة في زمانه (عام 1871) في جدول مرتبة فيه أسلوب دوري، وفقا لكتلها الذرية المتزايدة. وفي هذا =

فارقا هاما. إن الجدول الدوري واحد في كل مكان بهذا الكون. أما الشفرة الوراثية فهي أكثر عفوية، أو هي كذلك لدرجة ما. وقد أجرى الكثير من المحاولات لاستنباط العلاقة بين اللغتين عن طريق المبادئ الكيماوية، غير أن أيا منها لم ينجح حتى الآن. إن للشفرة بعض الملامح المنتظمة، ولكن هذه قد ترجع لمجرد الصدفة.

وحتى لو وجد في أي مكان آخر شكل من الحياة، مختلف تماما يرتكز على الأحماض النووية والبروتين، فإنني لا أجد سببا وجيها يدعو لأن تكون الشفرة الوراثية هناك مماثلة لها هنا (وبالمناسبة، فشفرة مورس ليست عفوية تماما، إذ خصص فيها لأكثر الحروف شيوعا أقل عدد من النقط والشرط). فإذا ما تأكدت صفة العفوية هذه للشفرة الوراثية، فأننا-مرة أخرى-نستطيع إلا أن نستتبط أن كل الحياة على الأرض نشأت عن عشيرة بدائية جدا، استخدمتها أولا لضبط تدفق البيانات الكيماوية من لغة الحمض النووي إلى لغة البروتين.

كل الكائنات الحية إذا تستخدم نفس اللغة ذات الحروف الأربعة لنقل البيانات الوراثية. وكلها تستخدم نفس اللغة ذات العشرين حرفا لتكوين بر وتيناتها، أدوات ماكينة الخلية الحية. وكلها تستخدم نفس القاموس الكيماوي لترجمة من لغة إلى أخرى. ولم يكن هناك من يتخيل مثل هذه الدرجة المذهلة من التماثل، حتى منذ أربعين عاما فقط عندما كنت طالبا بالجامعة. هناك ظاهرة عجيبة ألاحظها في عصرنا هذا، وهي أن هؤلاء الذين يجدون راحتهم الكبرى في التأمل في توحدهم بالطبيعة عادة ما يكونون جاهلين تماما بنفس الوحدة التي يحاولون تأملها. ربما كانت هناك-بالفعل-كنيسة في كاليفورنيا تتلى فيها الشفرة الوراثية صباح كل أحد، ولكني أشك في أن يكون هناك من سيجد في مثل هذه التلاوة المجردة ما يثير فيه الإلهام.

=الجدول يمثل كل عمود رأسي مجموعة من العناصر المتشابهة كيميائيا. وقد كان لهذا الجدول. فضل عظيم في دراسة الكيمياء، كما أشار إليه المؤلف. ومن ذلك أن مند ليف تنبأ، بناء على جدوله هذا، بوجود عناصر لم تكن قد اكتشفت بعد، فتم اكتشافها. وقد كرم الكيميائيون مند ليف نسبة العنصر المكتشف رقم 101 إليه، فأسموه «مندليفيوم» وفي الصيغة الحديثة للجدول ترتب العناصر وفقا «لأرقامها الذرية» أي عدد البروتونات في نواها. [المراجع].

نعرف ألان، إذا، أن إحدى الطرائق للاقتراب من نشوء الحياة هي أن نحاول تصور كيف بزغ أولا هذا التناسق المذهل. ولقد اتخذت كل النظريات الحديثة وكل الأعمال البحثية عن نشوء الحياة، اتخذت تخليق الحمض النووي أو تخليق البروتين نقطة للبداية. كيف يمكن للأرض البدائية (إذا كانت الحياة نشأت حقا على ظهرها) أن تنتج أول الجزيئات العملاقة المناسبة ؟ لقد رأينا أن هذه الجزيئات ذات السلاسل تتكون بوصل أطراف وحدات أصغر. فكيف يمكن إذا للجزيئات الصغيرة أن تخلق في أيام الأرض الأولى تحت ظروف ما قبل الحياة ؟ وكيف يمكن أن نقرر-حتى ولو كان في استطاعتنا أن نراقب العملية بالكامل في تفاصيلها الذرية-وقت بزوغ النظام الذي يستحق أن نسميه «حياة» ؟ لمعالجة هذه المشكلة لابد من أن نفحص الآن الخواص التي نتوقع أن يتصف بها أي نظام حي.

4 الطبيعة العامة للحياة

ليس من السهل إعطاء تعريف موجز«للحياة» أو لما هو«حي». والمؤكد أنني لا أعني بكلمة «حي» القدرة على التفكير أو الإحساس لأن النباتات بالنسبة للبيولوجي حية بكل تأكيد. وهناك قلة فقط من الناس (بغض النظر عن البعض من السذج ممن يفتقرون آلي التدريب العلمي) يعتقدون أن النباتات تفكر وتحس. والبكتيريا-وبالقلة ما تحس به، بالرغم من أنها تستطيع أن «تشم» جزيئات الطعام وتسبح تجاهها-لابد بالتأكيد من أن نعتبرها حية. والوضع بالنسبة للفيروسات أكثر صعوبة، فمعها نقترب من الحدود الفاصلة بين الحي واللاحي. ولعل أفضل طريقة لمعالجة المشكلة هو أن نصف ما نعرفه من العمليات الأساسية للحياة، وننزع القشور واحدة واحدة حتى لا يتبقى شيء أو يتبقى القليل، ثم نعمم ما اكتشفناه.

فإذا فعلنا ذلك فستذهلنا تلك الدرجة الرفيعة من «التعقيد المنظم» التي نلحظها على كل مستوى، ولاسيما على المستوى الجزئي، لأن لدينا من الأسباب ما يجعلنا نثق في أن التركيبات التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة، ومثلها تلك التي لا يمكن مشاهدتها إلا بالميكروسكوب، كل هذه تبنى من

التفاعلات المعقدة لمكوناتها الجزئية. ما هي درجة تعقيد هذه الجزيئات العملاقة، وكيف تصنع بالضبط ؟.

لعل أفضل مثال يبين البنيان الجزئي الموجود بالكائنات الحية هو عائلة البروتين. فأبسط البروتينيات قد يحتوي على ما يصل إلى ألفي ذرة، تشكل تركيبا محكما ثلاثي الأبعاد، تقع كل ذرة فيه في مكانها المحدد، إلا عندما تقلقها التصادمات المستمرة الناتجة عن الحرارة. وهذا الشكل المعقد ثلاثي الأبعاد أساسي لأداء الجزيء وظيفته. فإذا سخن الجزيء في محلول مائي فإن الحرارة في أغلب الحالات ستفكك الروابط الواهية التي تحفظ السلسلة الأساسية مطوية في الوضع المضبوط ثم تكسرها، وبذا يصبح التركيب مشوشا، ويفقد سطحه الفجوات الصحيحة ومجا ميع الكيماويات المضبوطة، فيفقد بالتالي قدرته على أداء وظيفته الأصلية. فإذا ما وجد بالمحلول أيضا جزيئات بروتين آخر في نفس الحالة المشوشة، فقد تلتصق جميعا وتتجلط، لتبقى في هذه الحالة المتجلطة حتى بعد أن يبرد المحلول. انك إذا وضعت بيضة في ماء يغلي فسيختلط المعلق الغليظ من البروتينيات مع بعضه البعض تماما ليصبح-بلا رجعة-صلب القوام بعد أن كان رخوا سائلا.

قد يبدو من النظرة الأولى أنه من الصعب جدا أن ننتج نسخة طبق الأصل للتركيب ثلاثي الأبعاد الكامل للبروتين في طيه الطبيعي محكم التنظيم. من الممكن أن نتخيل تشكيل قالب جزيئي يعكس شكل السطح، كما نفعل مثلا بالنسبة لتمثال، ولكن كيف يمكن نسخ قلب الجزيء ؟ لقد تغلبت الطبيعة على هذه المشكلة بحيلة رائعة. تخلق السلسلة البوليببتيدية كتركيب ممتد ذي بعد واحد، يطوى بعد ذلك على نفسه. ويوجه عملية الطي هذه المخطط المعين للسلاسل الجانبية والتي تتفاعل مع بعضها البعض ومع عمودها الفقاري تفاعلات مركبة ضعيفة. ويجرب الجزيء الفرص المتواصلة التي تقدمها الحركة الحرارية إلى أن يكتشف بالصدفة أفضل شكل للطي، الشكل الذي تتوافق فيه أجزاء الجزيء المختلفة بعضها مع بعض في إحكام ذي استقرار نسبي لا تتسبب معه أي حركة حرارية لاحقة في إقلاق الجزيء.

ولإنتاج هذا التركيب الجزيئي الأعجوبة، فإن كل ما يطلب من الخلية هو أن تربط الأحماض الأمينية (التي تؤلف السلسلة البوليببتيدية) في

شكل خيطي في تتابعها المضبوط. وهناك عملية بيوكيمياوية معقدة-خط تجميع جزيئي-تستخدم فيها تعليمات في صورة شريط أحماض نووية (يسمى R.N.A الرسول) سنقدم وصفا مختصرا له في الفصل الخامس. أما هنا، فإن علينا أن نسأل: ما هو عدد البروتينيات المحتملة؟ وإذا ما أخذنا تتابعا معينا عن طريق الصدفة، فما هو احتمال حدوثه ؟

إن هذا تمرين سهل في التوافيق. افرض أن طول السلسلة هو 200 حمض أميني-وهذا على العموم أقصر من متوسط طول أي بروتين-، ولأن لدينا20 احتمالا فقط في كل موقع (هو عدد الأحماض الأمينية) فإن عدد الاحتمالات الممكنة سيكون الرقم عشرين، مضروبا في نفسه مائتي مرة، والنتيجة يمكن وضعها في صورة 20020، أي نحو 26010، نقصد واحدا على يمينه 260 صفرا!

إن هذا الرقم يتجاوز تماما حدود إدراكنا اليومي. خذ على سبيل المقارنة عدد الجسيمات الأساسية في الكون كله (اعتبرها الذرات، على سبيل التيسير)، لا في مجرتنا فحسب بنجومها التي يبالغ عددها 1110، وإنما في بلايين المجرات الخارجة عن نطاق الفضاء الذي تمكن ملاحظته. إن العدد المقدر لهذه الجسيمات هو8010، وهو رقم تافه حقا بالنسبة للرقم 26010. تذكر أننا كنا نستخدم سلسلة بوليببتيدية ذات طول متواضع للغاية، فلو أنا استعملنا سلاسل أطول لأصبح الرقم أضخم كثيرا. إن في إمكاننا أن نبين أن عدد السلاسل البوليببتيدية التي كان من الممكن تخليقها منذ ظهور الحياة على الأرض لا يشكل إلا نسبة جد تافهة من العدد الذي يمكن تصوره. إن معظم التتابعات لا يمكن أن يكون قد خلق في أي وقت على الإطلاق.

وهذه الحسابات لا تأخذ في اعتبارها إلا تتابعات الأحماض الأمينية، فهي تهمل حقيقة أن كثيرا من التتابعات قد لا تطوى بشكل مناسب في صوره ثابتة محكمة. ونسبة التتابعات التي قد يحدث فيها هذا بين جميع التتابعات المحتملة ليست معروفة وإن كان المظنون أنها نسبة صغيره للغاية.

هناك مقارنة فضفاضة بعض الشيء يمكن أن توضح هذا. تأمل فقرة مكتوبة باللغة الإنجليزية. تكتب هذه الفقرة باستخدام 32 رمزا (الحروف كلها بجانب علامات الترقيم كالنقطة والفاصلة.. . الخ). في الفقرة النمطية من الحروف ما في البروتين النمطي من الأحماض الأمينية تقريبا. وعلى

هذا فإن حسابا مشابها لما أجريناه الآن سيبين أن عدد تتابعات الحروف المختلفة سيكون هو الآخر هائلا. والحقيقة أن هناك احتمالا ضئيلا إلى حد التفاهة في أن يستطيع بليون قرد يدقون على بليون آلة كاتبة من كتابة قصيدة قصيرة واحدة من قصائد شكسبير إذا ما ظلوا يدقون فترة في طول عمر الكون حتى الآن. إن معظم ما سيكتب سيكون مجرد هراء. فإذا تساءلنا ما هي النسبة من الفقرات الممكنة التي يمكن أن تكون ذات معنى فسنجد أنها نسبة تافهة للغاية، ورغما عن ذلك فإن عدد الفقرات ذات المعنى سيكون كبيرا جدا، حتى ولو لم يكن لدينا وسيلة سهلة لتقدير مثل هذا العدد. وعلى غرار هذا القياس نفسه لابد من أن يكون عدد البروتينيات المتميزة المحكمة الثابتة كبيرا جدا.

إن ما اكتشفناه حتى الآن هو أنه تحت هذا المستوى الأساسي تماما هناك تراكيب معقدة تتواجد في نسخ كثيرة متطابقة-نقصد أن لها تعقيدا منظما-وهي تراكيب لا يمكن أن تنشأ عن مجرد الصدفة. والحياة من وجهة النظر هذه تعتبر حادثة نادرة للغاية. ورغم ذلك نراها تتزاحم من حولنا. كيف يمكن لهذه الأشياء النادرة أن تكون شائعة إلى هذا الحد؟

إن الآلية الأساسية بسيطة حقا إذا ما نزعنا عنها تعقيداتها الساحرة العديدة. وقد اقترحها كل من داروين وولاس بعد أن قرأ كل منهما كتاب مالثوس *. فالكائنات الحية لابد بالضرورة من أن تتنافس: في الطعام وفي اختيار الزوج، وفي مكان المعيشة، خصوصا مع أقرانها من نفس النوع. ولابد لها من أن تتجنب المفترسات والأخطار الأخرى. لكل هذه الأسباب المختلفة فإن بعضها سينجب نسلا أكثر من بعضها الآخر. وبذا ستنتقل الصفات الوراثية لهذه الأفراد المنتخبة إلى الأجيال التالية بنسبة أعلى من غيرها. فإذا وضعنا هذا في شكل أكثر تقنية قلنا إنه إذا ما كان أحد الجينات يعطي الفرد الذي يحمله «صلاحية» عليا فإن المرجح أن نجده في المستودع الجني بالجيل التالي. إن هذا هو جوهر الانتخاب الطبيعي. وقد يبدو هذا للنظرة المتعجلة مجرد لغو، غير أن المهم هو الآليات الأساسية وليس الكلمات. فهل نستطيع-في عبارة مجردة-أن نشير إلى ما يجب أن تكونه هذه الآليات ؟

---

*Malthus.T.R.(1798). Easy on the Principle of Population London. J.Johnson

إن أول الشروط الأساسية يختص بالنسخ، بل النسخ المضبوط حقا. إن علينا أن ننقل قدرا كبيرا من البيانات كتعليمات تشكل هذا التعقيد الذي يميز الحياة. وما لم تنسخ هذه البيانات بدرجة كبيرة من الدقة فإن الآلية ستتآكل تحت الثقل المتزايد من الأخطاء. غير أن الدقة التامة ليست مطلوبة أيضا. والحق أنه لا يجب أن تكون كل النسخ متطابقة تماما. والكثير من أخطاء النسخ قد يكون ضارا، ولكن بعضها القليل قد يكون مفيدا، إذا ما كان يسمح للجين بأن يعمل بشكل أكثر فعالية. ونحن نحتاج إلى أمثال هذه الجينات ليعمل عليها الانتخاب الطبيعي، أي أننا نحتاج إلى الطفرات-وهذا هو الاسم الذي نطلقه على هذه الأخطاء الوراثية-ولكنا لا نحتاج إلى الكثير منها. والمعدل المطلوب من هذه الأخطاء منخفض للغاية، منخفض حتى أن الخلية عادة ما تكفل ما يكفي من الاحتياط لإصلاح معظم الأخطاء، لتترك القليل منها فقط، القليل الذي يتسبب في وجود التباين المطلوب إذا ما كان للنوع أن يستمر في المحافظة على نفسه وفي التطور.

المهم أن نلاحظ أن الطفرات نفسها لابد من أن تنسخ عن طريق آلية النسخ، فلا طائل وراء أخطاء لا يمكن نسخها، لأن مثل هذه لا تفعل أكثر من إفساد النظام، ولابد من التخلص منها بطريقة أو بأخرى. فإذا ما ووجه جهاز النسخ بمثل هذا الخطأ الكيميائي فقد يهمله ويولج حرفا عشوائيا من الأحرف القياسية. ونوع الخطأ لا يهم كثيرا كيما يعمل الانتخاب الطبيعي، طالما كانت نتيجته النهائية تغييرا يمكن نسخه بدقة في الأجيال التالية.

إن النسخ والطفرة هما أهم المتطلبات. ولقد ألمحنا إلى أن الجينات قد تختلف في «الصلاحية». وأقل درجات التمييز بالنسبة لجين هو أن يكون نسخة أسرع أو أكثر، وعادة ما يتحقق هذا خلال طرق أقل مباشرة. فقد يأمر الجين بإنتاج رن ا (RNA) الرسول الذي يشفر لبروتين معين له خاصية مرغوب فيها، بحيث يصبح للفرد الذي يحمله ميزة في الصراع لإنتاج نسل أكثر أو أفضل. وإذا وضعنا هذا في شكل مصطلحات تقنية قلنا إن عمل الجين المحسن يقتصر على مجرد تغيير التركيب الوراثي للفرد (أي مجموع جينات هذا الكائن الحي) وإنما هو يغير أيضا مظهره (نقصد-بشكل عام-صفاته الظاهرة). وهذا عادة ما يتأتى بسبب خصائص واحد أو أكثر من البروتينيات أو وفرتها، لأن البروتينيات تتحكم في معظم الأنشطة الكيميائية

بالجسم. بينما لا تقوم الأحماض النووية-خاصة د. ن.أ (DNA)-إلا بالقليل غير النسخ والشفر للبروتينيات ولبعض جزيئات دن ا البنائية.

ثمة متطلب واحد أخير، وهو أن نتجنب «التغذية المضادة». فنحن عموما لا نرغب في أن يستفيد كائن منافس من منتجات جيننا. إننا نريد أن تساعد هذه النواتج جيناتنا وحدها فقط، وهذا يعني أن نستبقى الجين ونواتجه جميعا بطريقة ما. ويمكن أن يتحقق هذا بصورة ملائمة-على أدنى المستويات-بحفظ الجينات ومعظم إنتاجها في نفس الحقيبة. وهذه الحقيبة تسمى «الخلية»، يحيط بها غشاء دقيق جدا نصف منفذ يمنع معظم الجزيئات من أن تترك الخلية إلا إذا كانت هناك أسباب قوية لذلك. وهناك في الغشاء بوابات خاصة ومضخات تسمح بدخول الغذاء وغيره من الجزيئات إلى الخلية من خارجها، كما تسمح بجوخ الفضلات وبعض الجزيئات المعينة.

إن هذا يوجز المتطلبات الرئيسة لجهاز المعلومات اللازم للحياة، ولكن تتبع من هذه المتطلبات احتياجات أخرى مباشرة وعملية. فلأننا نحتاج إلى أن نصنع نسخا من بعض الجزيئات فلابد من أن يكون لدينا ما يكفي من المادة الخام اللازمة، كما يلزم أن تحول هذه الكيماويات الخام-إلا في بعض الحالات الخاصة جدا-إلى كيماويات أخرى ذات صلة. وعادة ما تحتاج كل خطوة من خطوات التحويل داخل الخلايا الحالية إلى حافز هو أيضا بروتين بعينه-يسمى الإنزيم-يختص بهذا التفاعل وحده. آما عند نشوء الحياة فلابد من أن المادة الخام كانت موجودة في صورة تصلح للاستخدام المباشر، لأننا لا نتوقع أن يكون هناك عند ذاك إلا القليل-إن وجد-من الحوافز المتخصصة التي تجعل الحساء الأولي أكثر استساغة.

والقيام بالتخليق العضوي يحتاج زادا من الطاقة، التي لابد من أن تكون في صورة متاحة، آي ما يسمى تقنيا بالطاقة الحرة. وهذا المصطلح لا يعني مجرد الحصول على الطاقة دون مقابل (إذ إن للمصطلح معنى محددا في الديناميكية الحرارية). فالنظام إذا ليس في حالة توازن إذا أخذنا المعنى الضيق لهذا المصطلح، ولو أنه قد يكون في حالة توازن ديناميكي. ومن الممكن تشبيه الوضع في مقارنة فجة ببحيرة هادئة في حالة توازن ساكن، يتدفق فيها نهر تدفقا مستمرا ثابتا. فالكائن الحي يشبه النهر الذي تنصب فيه المواد والطاقة الحرة بينما يلفظ النفايات والحرارة. إنه ما

يسمى تقنيا بالنظام المفتوح. بهذه الطريقة وحدها يمكنه أن يستمر في المحافظة على التخليق اللازم للنسخ الكيميائي المتكرر.

هذه إذا هي المتطلبات الأساسية للحياة: لابد من أن يكون النظام قادرا على أن ينسخ نوعي تعليماته نسخا مباشرا، وعلى أن ينسخ الآلية اللازمة لتنفيذهما نسخا غير مباشر. ونسخ المادة الوراثية لابد من أن يكون مضبوطا إلى حد كبير. ولابد أيضا من أن تحدث الطفرات-أي الأخطاء التي يمكن نسخها بأمانة-ولكن بمعدل منخفض للغاية. كما يلزم أن يحفظ الجين وما يصنعه متقاربين. سيكون النظام نظاما مفتوحا، ولابد من أن يكون له زاد من المادة الخام، وأيضا-بطريقة أو بأخرى-زاد من الطاقة الحرة.

فإذا ما وضعنا الأمر في هذه الصورة العامة فإن المتطلبات لا تبدو كثيرة، ولو أن إنشاءها في البداية صعب التحقيق فعلا، كما سوف نرى. أما الشيء الذي لم يتضح تماما فهو قدرة هذا النظام الرائعة على تحسين نفسه. عملية نسخ ببضعة أخطاء نادرة. ترى، إلى ماذا قد تؤدي هذه العملية؟

إن أول ما يلفت نظرنا هو الطبيعة المستمرة للعملية. إن على النظام أن يستمر فعالا إلى الأبد إذا كان له أن ينجز أي شئ لافت للنظر. ولكن هذا يعنى أننا نضاعف عدد النسخ في كل «جيل». ومعظمنا يعرف أن هذا سيؤدي بسرعة إلى عدد من الأفراد أبعد من الخيال. هناك الحكاية القديمة عن الملك أو السلطان الذي رغب في أن يكافئ أحد رعاياه، فسأله عما يطلب. ويزعمون أن الرجل (وليس من الواضح إن كان ماكرا أو ساذجا، إن كان حكيما أو أحمق، فالطغاة لا يحبون أن يستغفلهم أحد) يزعمون أنه طلب مكافأة تبدو للوهلة الأولى غاية في التواضع. لقد أشار إلى رقعة الشطرنج وطلب حبة قمح في أول مربع، واثنتين في الثاني وأربعة في الثالث وثمانية في الرابع، وهكذا يتضاعف العدد في كل مرة. وقد لا يبدو هذا غير معقول حتى تتذكر أن برقعة الشطرنج أربعة وستين مربعا، ويمكنك باستخدام الجبر البسيط أن تعرف أن عدد حبات القمح سيكون 642 ناقصا واحدا. وهذا أكثر بقليل من ١٩١٠، أي ما يوازي وزن مائة بليون طن من القمح، أو ما يملأ مكعبا يبلغ طول ضلعه نحو أربعة أميال. لم يكن الطلب متواضعا على أي حال !

إذ استمر النظام الحي في التضاعف بهذه الطريقة-متطلبا الغذاء في

شكل مواد خام وطاقة-فإنه سيستهلك بسرعة كل الموارد في بيئته. وعلى هذا فلابد من أن يتنافس الأفراد على الطعام بعد زمن قصير نسبيا. أي أن النظام لا يستطيع أن يستمر في التزايد العددي إلى الأبد عند وجود قدر ثابت من الطعام والطاقة، بل لابد من أن يصل إلى وضع ثابت. وهذا يعني أنه بالوصول إلى تلك المرحلة سيترك كل فرد، في المتوسط، فردا واحدا يخلفه في كل جيل. ولأن بعض الأفراد قد يترك نسلا أكثر فلابد من أن يفشل غيرها في التكاثر. وقد يحدث هذا عن طريق الصدفة، فقد يقع فرد على مخبأ أسماك في المنطقة بينما يموت غيره من الجوع لسوء حظه. ولكن إذا كان أحد الأفراد قد اكتسب طفرة في حين من جيناته تمكنه لسبب أو لآخر من التنافس بنجاح وتجعله، في المتوسط، يترك عددا أكبر من النسل، عندئذ سيزداد حضوره في العشيرة، ويكون ذلك بالضرورة على حساب الأفراد الأقل حظوة التي تعطى إذا عددا أقل من النسل. فإذا ما استمرت هذه العملية إلى مالا نهاية فإن الأشكال الأقل حظوة ستنتهي في آخر الأمر، بينما تسود تماما تلك التي تحمل الجين الأكفأ. إن أهم ما يجب أن نلاحظه هو أن هذه العملية البسيطة تتسبب في نشر واقعة عفوية نادرة.

وقد تتكرر هذه العملية، فتحدث المرة بعد المرة وذلك كلما ألقت الصدفة بطفرات جديدة نافعة، كما أن التحسين قد يضاف إلى التحسين. فإذا ما أعطينا هذه العملية الزمن الكافي فسينتج التطور كائنات متوافقة مع بيئتها على نحو ممتاز. والأمر لا يحتاج إلى أكثر من هذه الطفرات التي تحدث بالصدفة للوصول إلى هذا الكمال في التصميم. ولا يبدو أن هناك آلية-أو على الأقل آلية شائعة-توجه هذا التغيير في الجين بحيث لا تظهر إلا التغييرات النافعة. ثم يمكننا أن نجادل فنقول إن مثل هذه الآلية الموجهة قد تكون على المدى الطويل صارمة أكثر مما ينبغي. فإنه إذا ما جاء وقت أزمة ظهرت الحاجة إلى ابتداع شئ جديد-شئ لا يمكن تحديد أهم ملامحه مسبقا-. ولهذا السبب لابد من أن نعتمد على الصدفة. فالصدفة هي المصدر الوحيد للجدة الحقيقية.

هذه إذا هي قوة الانتخاب الطبيعي الذي يمكنه أن يعمل على كل المستويات، والذي يمكنه على وجه التحديد أن ينتج تحسينات في آلية الانتخاب نفسها. وفي التكاثر الجنسي مثال لهذا. فإذا ما ظلت البيئة ثابتة-

والبيئة فكرة مجردة يصعب تعريفها بالتحديد-فإن الانتخاب الطبيعي عادة ما ينحو إلى أن يكون محافظا، فيبقي مجموعة من الكائنات التي تتزاوج داخل إطار ضيق، إذ إن تلك المجموعة تكون قد وصلت إلى الكمال حتى ليصبح أي تحسين إضافي عليها محتاجا إلى حادثة نادرة للغاية، بعد أن جرب بالفعل كل تحسين ذي احتمال متوسط الندرة. فإذا ما تغيرت البيئة، أو إذا ما عزل بعض الأفراد عن بقية العشيرة لسبب أو لآخر، عندئذ قد يختل الاتزان، وهنا يمكن للانتخاب الطبيعي أن يكون اكثر إبداعا. ولا يلزم أن تعرقلتا هنا هذه التعقيدات-بالرغم من أهميتها القصوى بالنسبة لنظرية التطور-لاسيما وأن غرضنا هو منشآ الحياة عندما كانت العمليات المتاحة في الأغلب فجة للغاية. أما المهم الآن فهو أن نفهم الملامح العامة العريضة للعملية، وأن نعرف بوضوح كيف يمكن أن تقودنا هذه المجموعة البسيطة من الفروض إلى مثل هذه النتائج الغريبة غير المتوقعة.

وليس هناك على حد علمنا أي آلية أخرى يمكن الاعتماد عليها لإنتاج نتائج مقارنة بنفس هذه الكفاءة. هناك إمكانية توارث الصفات المكتسبة. فقد تتمكن الزرافة بالكفاح من أن تجعل رقبتها أطول فتستطيع الحصول على غذاء أوفر من الأوراق العليا والأطرى للأشجار. ولنا أن نتصور أن هذا قد يتسبب في أن يصبح نسلها أطول عنقا، وبذا يغدو أكثر صلاحية في الصراع من أجل البقاء. وعلى حد علمي ليس هناك من قدم أسبابا نظرية عامة تجعل هذه الآلية أقل كفاءة من الانتخاب الطبيعي، ولو أننا قد نتوقع أن تكون الأولى أقل مرونة من الأخيرة لاسيما عندما يتطلب الأمر إبداعا حقيقيا له للتغلب على أزمة تطورية. إن توارث الصفات المكتسبة سيتطلب على أي حال عملية يمكن بها نقل البيانات من الجسم (أي جسم الحيوان أو النبات) إلى الخط الجرثومي (البيضة أو الحيوان المنوي). وقد اقترحت مثل هذه الآلية مؤخرا، غير أن الشواهد التي تعضدها معقدة ولا تزال حتى الآن واهية. ربما تكون وراثة الصفات المكتسبة قد لعبت دورا صغيرا في عملية التطور، ولكن من المستبعد أن يثبت في النهاية أن دورها كان رئيسا.

هل هناك متطلبات أخرى عامة جدا يحتاج إليها النظام الحي ؟ لكي يكون لأي من أشكال الحياة أهمية خاصة لابد من أن يكون به على الأقل بعض التعقيد، بل قد يلزم أن يكون معقدا حقا. إننا لا نعرف في تركيب

الكون-على آي مستوى-أي شئ ينتج مثل هذه الدرجة من التعقيد، بسبب طبيعة الأشياء. والآلية الوحيدة التي نعرفها وتستطيع أن تفعل هذا هي آلية الانتخاب الطبيعي، وقد بينا الخطوط العريضة لمتطلباته فيما تقدم.

إن هذا يعني إذا تخزين ونسخ قدر كبير من البيانات. والطريقة الوحيدة لعمل ذلك تكون باستخدام المبدأ التوافقي، نعني أن نعبر عن البيانات بأن نستخدم عددا صغيرا من الوحدات القياسية يمكن تجميعه بطرائق كثيرة متعددة (والكتابة تعتبر مثالا ممتازا لهذا المبدأ). والوحدات القياسية للحياة كما نعرفها هي خيوط طولية، ولكننا نستطيع أن نتخيل نظما تستخدم صحائف منبسطة من وحدات، أو حتى تراكيب ثلاثية الأبعاد. غير أن هذه ستكون أصعب في النسخ، فلا يكفي أن تحوى هذه التراكيب البيانات-أي أنها لا يلزم أن تكون منتظمة تماما-ولكن محتواها من البيانات لابد من أن يكون ميسرا للنسخ الدقيق، والأهم أن تكون هذه البيانات ثابتة لفترة أطول كثيرا من الزمن اللازم لنسخها، وإلا تزايدت الأخطاء وأصبح من الصعب على الانتخاب الطبيعي أن يعمل. وعلى هذا، فإن البناء من وحدات قياسية من التوافقات الخطية الأثبت يبدو أساسيا إذا كان لأي شكل من الأشكال العليا للحياة أن ينشأ. فإذا حاولنا تجنب استخدام العدد الصغير من الوحدات القياسية فإن آلية النسخ تصبح أكثر صعوبة، كما هو الحال في طباعة اللغة الصينية التي تحوي الآلاف من الوحدات المختلفة.

ثمة متطلب عام آخر، وهو ضرورة ألا تكون العملية بطيئة جدا. ونحن لا نستطيع حتى الآن أن نحسب معدل سرعة التطور من المبادئ الأولى. ولكن نظاما أبطأ من نظامنا عشر مرات أو مائة مرة مثلا لم يكن ليجد الزمن الكافي لإنتاج كائنات عليا في تعقيد مشابه لما هو موجود في نظامنا حتى لو ابتدأ النظام بعد نشأة الكون مباشرة. وعلى هذا فإن أي نظام يرتكز على الحالة الجامدة حيث التفاعلات الكيميائية تسير ولكن في بطء بالغ لم يكن ليمضى بالسرعة اللازمة. وهذا يتركنا لنتأمل السوائل والغازات.

هناك اعتراض على الصورة الغازية الخالصة وهو أن الغازات الحقيقة تتكون فقط من الجزيئات الصغيرة وحدها. وفي غياب أي قوى تجاذب، هناك دائما قوى محسوسة غير نوعية بينها (تسمى قوى فان دير فالس) تعمل بين الذرات كلها، ولو أن ذلك لا يكون إلا على مسافات قصار، وتزداد

بزيادة حجم الجزيئات. وحيث أن جزيء المعلومات كما رأينا لابد من أن يكون كبيرا (حتى يمكن أن يتضمن المعلومات باستخدام المبدأ التوافقي) فمن المستبعد أن يكون غازيا إلا تحت الحرارة العالية-حيث يكون في خطر التفتت بسبب الحركة الحرارية، أو تحت الضغط المنخفض جدا-الذي يتسبب في صعوبات أخرى. وعلى وجه الخصوص سنجد أن تركيزات الجزيئات التي تكون الحالة الغازية لابد من أن تكون بالضرورة منخفضة جدا، وهذا بالتالي سيبطئ من سرعة التفاعلات الكيميائية المطلوبة. لهذه الأسباب كلها يصعب حقا أن ندبر نظاما مقبولا يرتكز على الصورة الغازية الخالصة وحدها.

هناك احتمالات أكثر إذا سمحنا لقطع صغيرة من المادة الصلبة أو قطرات سائلة (أو قطرات يحيط بها غشاء خاص) أن تسبح في غاز، بل سيصعب علينا حقا استبعاد هذا الشكل من أشكال الحياة. قد نعتقد أنه من المستحيل أن نطور أي كائن حي كبير الحجم باستخدام هذا النظام، ولكن لابد لنا من أن نكون حريصين على هذا. إن في وجود حيوانات الأرض ونباتاتها ما يشير مباشرة إلى أنه ما أن يبدأ النظام في التقدم فإن الانتخاب الطبيعي يمكنه أن يظهر عبقريته، فيتخطى مثل هذه العوائق. غير أن تفحصنا المشكلة سيبين أن الحل الأسهل سيكون نظاما يرتكز على توافقات كبيرة-تماثل الحالة الصلبة ولكن في صورة مصغرة كثيرا-تسبح في سائل، أما ما هو غير ذلك فسيبدو تسييره صعبا للغاية. ولأن ذرة الكربون تتفوق على الذرات كلها في الترابط مع غيرها لتنتج تنويعات لا تحصى من الجزيئات العضوية، ولأن جزيء الماء هو أكثر الجزيئات الكونية وجودا في الحالة السائلة، فليس من المستبعد أن ترتكز الحياة كما نعرفها على محاليل مركبات الكربون في الماء.

من الطبيعي أنه قد توجد في مكان آخر في الكون حياة ترتكز على مواد أخرى. فعلى درجات الحرارة الدنيا قد تستعمل الأمونيا السائلة مذيبا، ولو أنها من هذه الناحية ليست في طواعية الماء الذي يعتبر مذيبا ممتازا. كذلك اقترح السليكون بديلا من الكربون، وله ميزة الوفرة-على الأقل فوق سطح هذه الأرض-والواقع أن السليكون-مرتبطا بالأكسيجين في صورة سليكات-يشكل تراكيب واسعة الانتشار، يوجد بعضها في هيئة رقائق، والقليل منها في شكل خطي، ولكن أغلبها يوجد في صورة تركيبات ثلاثية الأبعاد

معقدة نوعا-متبلّرة أو ذات تبلّر كاذب-وليس في مظهرها ما يدل على أنها يمكن أن تشكل أساسا للانتخاب الطبيعي، اللهم إلا في شكل قبيح للغاية.

وعلى هذا، فوجود شكل من الحياة يرتكز على مواد أخرى ليس شيئا مستحيلا. والواقع أن بعض النظم يستحق دراسات أكثر، ولكن أحدا لم يستطع حتى الآن أن يقترح نظاما واعدا حقا. وهناك نظم تبدو غير معقولة تماما، مثل الحياة داخل صخر أو داخل نجم. فوجود شكل من الحياة داخل الشمس يحتاج إلى كوكبة هائلة من التوافقات الواسعة من نويات (نيوكليونات) كانت ثابتة لفترة طويلة. وعلينا أن نعترف أن الوقائع داخل الشمس قد تمضي حقا بشكل سريع جدا لأن الحرارة هناك مرتفعة جدا (الواقع أن التفاعلات الذرية النووية تمضي هناك بطيئة جدا، مما يفسر السبب في بقاء الشمس مضيئة طيلة هذا الوقت). وربما أمكننا اعتبار التفاعلات التي تحدث عندما ينفجر نجم شكلا بدائيا جدا من الانتخاب الطبيعي، ولكن الانفجار شئ عابر فعلا حتى لتتجمد نتائجه قبل أن يجد الانتخاب الطبيعي الوقت للعمل.

ولحسن الحظ فإن هذه الاحتمالات البعيدة لا يلزم أن تشغلنا هنا. أن شكل الحياة الذي نعرفه يعتمد أساسا على مركبات الكربون في وسط مائي. ما هي صفات هذه الكيماويات العضوية؟ وكيف تتفاعل مع بعضها البعض؟

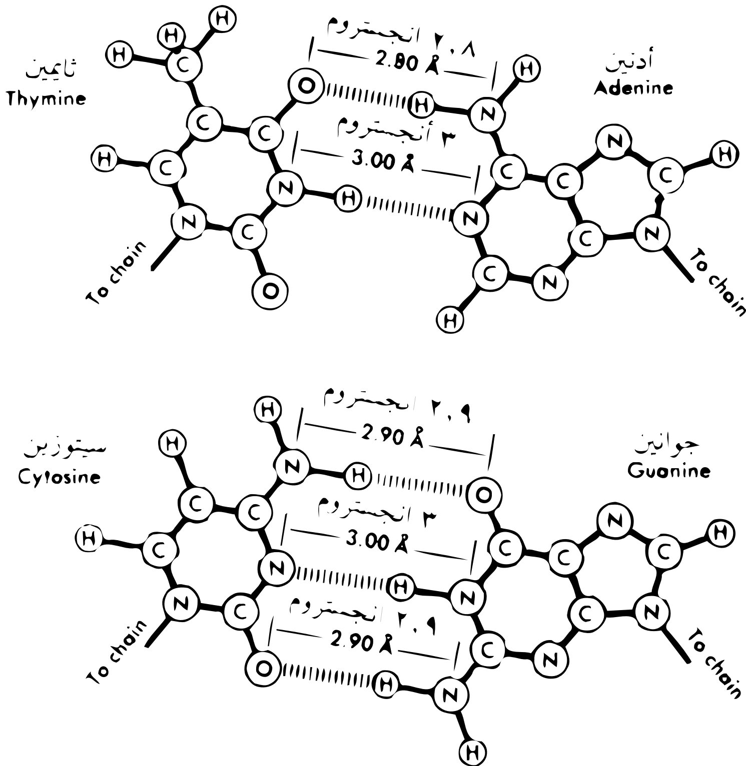
5 الأحماض النووية والنسخ الجزيئي

الآن وبعد أن أوضحنا متطلبات نظام الحياة بشكل مجرد، علينا أن نتفحص بدقة أكبر كيف تجري العمليات المختلفة داخل الكائنات الحية التي نجدها حولنا في كل مكان. ولقد رأينا أن أهم هذه الاحتياجات على الإطلاق يتلخص في طريقة للنسخ مضبوطة إلى حد بعيد، تنسخ بها الجزيئات العملاقة الطويلة الخيطية المؤلفة من مجموعة قياسية من المكونات. ويقوم بهذا الدور على الأرض عائلتان كبيرتان من الأحماض النووية: عائلة الـ (D.N.A) وعائلة الـ (R.N.A) والتصميم العام لهذه الجزيئات بسيط لدرجة كبيرة، بسيط إلى حد أن يقترح أن يكون قد ظهر مع بدء الحياة مباشرة.

يتشابه جزيئا دن ا ورن ا إلى حد كبير-فهما ابنا عمومة من الجزيئات إن شئت-لذا دعنا نصف جزئ د ن ا أولا، ثم نوضح أوجه اختلاف جزئ رن ا عنه. تتكون سلسلة دن ا من عمود فقاري متجانس يتكرر فيه تتابع الذرات المرة بعد المرة، ويلتصق به عند كل تكرار مجموعة جانبية. ويمضي العمود الفقاري من الناحية الكيميائية في شكل: فوسفات-

سكر، فوسفات-سكر.. الخ، متكررة آلافا عديدة بل ملايين من المرات. والسكر ليس هو السكر الذي تجده على مائدة إفطارك، وإنما هو سكر أصغر يسمى ديؤكسى ريبوز-أي سكر ريبوز تنقصه مجموعة «أوكسى» (ومن هنا الاسم د. ن. أ: اختصار

شكل (٤)



أزواج القواعد التي تشكل سر تركيب دن ا. تتماسك القواعد عن طريق روابط هيدروجينية ضعيفة تبينها في الصورة الخطوط المتقطعة-والتا يمين يقترن دائما مع الأدنين، والسيتوزين مع الجوانين.

ديؤكسى ريبو-نيوكلييك-أسيد أي حمض ديؤكسيريبوز النووي. وهو حامض نووي لأنه يوجد في نوى الخلايا العليا، وحامض بسبب وجود مجموعات الفوسفات التي تحمل في حالتها العادية شحنة سالبة). لكل سكر مجموعة جانبية تلتصق به، وهذه المجاميع الجانبية تختلف، ولكن هناك منها أربعة ضروب رئيسة فقط. ونرمز لهذه المجاميع الأربعة (وتسمى القواعد لأسباب تقنية) بالحروف الأولى لأسمائها: أ A، ج G، ث T، س C (لتعنى على التوالي أدينين Adenine، جوانين Guanine، ثايمين Thymine، سيتوزين Cytosine. وبسبب الحجم والشكل وطبيعة المكونات الكيمياوية يقترن أ في إحكام مع ث، كما يقترن س مع ج («أ» و «ج» كبيران، «ث» و «س» أصغر، وعلى هذا فإن كل زوج يتألف من قاعدة كبيرة مع قاعدة أصغر).

يشكل كل من دن ا و رن ا بسهولة تركيبات ثنائية السلسلة ترقد فيها السلسلتان سويا متجاورتين، تلتف كل منهما حول الأخرى، لتكونا لولبا مزدوجا، وترتبطان عن طريق قواعدهما. وهناك على كل مستوى زوج قواعد يتكون من قاعدة في سلسلة مقترنة مع قاعدة في السلسلة الأخرى (تبعا لقاعدتي الاقتران). وكل رابطة من الروابط التي تربط مثل هذه الأزواج ضعيفة في حد ذاتها ولكنها مجتمعة تجعل اللولب ثابتا إلى حد معقول. ولكن إذا ما سخن التركيب فإن الإثارة الحرارية الزائدة تدفع السلسلتين المتباعدتين، لتنفصلا وتفترقا في الماء المحيط بهما.

تنقل الرسالة الوراثية عن طريق التتابع المحدد للقواعد على طول واحدة من السلسلتين، فإذا أعطى التتابع على سلسلة عرف التتابع في السلسلة القرينة باستخدام قاعدتي الاقتران (أ مع ث، ج مع س). فالبيانات الوراثية تسجل مرتين، مرة على كل سلسلة، وقد يكون لهذا نفع إذا ما فسدت إحدى السلسلتين، إذ من الممكن عندئذ إصلاحها باستخدام البيانات-أي تتابع القواعد على السلسلة الأخرى.

هناك خصيصة واحدة غير متوقعة، إذ لن نجد عمودي السلسلتين في اللولب المزدوج العادي متوازيين تقريبا، وإنما هما على النقيض من ذلك، فإذا جرى تتابع الذرات في عمود إلى أعلى هبط في الآخر إلى أسفل. وهذا يسبب بالفعل بعض التعقيدات، وإن لم تكن بالدرجة التي نتوقعها. وينتج هذا من شكل التناسق في اللولب المزدوج الذي ينتج من التماثل

الكاذب لاقتران القواعد. ولقد اتضح أن هذا التماثل الكاذب هو أكثر الطرق ملاءمة بالنسبة لهذه المواد الكيميائية بالذات كي تتوافق الواحدة منها مع قرينتها توافقا دقيقا.

ومن الممكن أن نتفهم السبب في أن يكون مثل هذا الجزيء-المكون من زوج من السلاسل التي تتوافق مكوناتها غير المنتظمة (أي القواعد)-جزيئا مثاليا للنسخ الجزئي، لاسيما وأن السلسلتين يمكن بسهولة أن يفصلا بطرائق بسيطة. ذلك لأن الروابط داخل كل سلسلة، تلك التي تحفظ تماسكها، هي روابط كيميائية قوية، محصنة بشكل واضح ضد أثر الحرارة العادية، بينما تلتصق السلسلتان سويا بروابط ضعيفة، بحيث يمكن فصلهما دون صعوبات ودون أن يكسر أي من العمودين. ومن الممكن تشبيه سلسلتي دن ا بعاشقين في عناق حار، يمكن فصلهما، لأنه أيا كان عنف عناقهما فإن لكل منهما كيانا ذاتيا أقوى من الروابط التي تضمهما معا.

ولأن السلسلتين تتوافقان سويا في دقة، فمن الممكن أن نعتبر كلا منهما قالبا للأخرى. والآلية الأساسية للنسخ آلية مباشرة تماما: تنفصل السلسلتان. تعمل كل منهما كقالب لتجميع سلسلة جديدة مصاحبة مستخدمة في ذلك خامات من المكونات الأربعة القياسية. وعندما تتم هذه العملية يصبح لدينا زوجان من السلاسل بدلا من زوج واحد. وحيث إن نجاح عملية التجميع لابد من أن يخضع لقاعدة اقتران القواعد (ا مع ث، ج مع س) فإن تتابع القواعد لابد من أن ينسخ بكل دقة. سننتهي إذا بلولبين مزدوجين بدلا من واحد ابتدأنا به. وكل من هذين اللولبين سيتآلف من سلسلة قديمة وسلسلة حديثة التخليق تتوافق تماما معها. والأهم أن تتابع القواعد في السلسلتين البنويتين سيكون مطابقا لتتابع دن ا الأصلي.

لا يمكن أن تكون الفكرة الأساسية أبسط من هذا. أما الوجهة الوحيدة التي تبدو غير متوقعة فهي أن السلسلتين غير متطابقتين وإنما متكاملتان. ويمكننا أن نتخيل آلية أبسط يقترن فيها الشبيه بشبيهه بحيث تكون السلسلتان المقترنتان متطابقتين. ولكن طبيعة التفاعلات الكيماوية تجعل التوافق بين الجزيئات المتكاملة أسهل منه بين الجزيئات المتطابقة.

فيم تشبه هذه العملية آليات الطبع الضخمة التي نستخدمها الآن ؟ إن السطر المجهز للطباعة يتألف (أو كان يتألف) من مجموعة من الرموز

القياسية مرتبة في سطر أو سلسلة من الأسطر. وكل حرف من مجموعة الحروف به جزء قياسي موجود في كل الأحرف يتوافق داخل أخدود يبقيه في مكانه، وبه جزء آخر خاص يميز الحرف عن غيره. وبعد هذا لا يوجد تشابه. فليس هناك في نسخ دن ا ما يوازي الحبر في الطباعة. والحروف المطبوعة على الورقة هي صورة المرآة لحروف المطبعة وليست الصورة المكملة لها. والأهم أن السطر الناتج عن المطبعة لا يمكن أعادته ثانية إلى نفس الماكينة لينتج حروف المطبعة. إن المطابع تنتج الآلاف من نسخ الجرائد، ولكن الجرائد لا يعاد نسخها إلى حروف مطبعة.

إن نسخ دن ا ليس كذلك. إذ يلزم كي يعمل الانتخاب الطبيعي أن تنسخ النسخ. إن نسخ دن ا أكثر شبها بإنتاج قطعة من النحت البارز باستخدام قالب، لأنه من الممكن أن نستخدم القطعة نفسها في إنتاج قوالب أخرى إذا كان ذلك سهلا. والفارق الأساسي هو أن خيط دن ا يبنى من أربعة أجزاء قياسية فقط، وهذا بالطبع ليس صحيحا بالنسبة لمعظم قطع النقش البارز.

فإذا فحصنا عملية نسخ دن ا، أمكننا أن نلاحظ وجود عدد من المتطلبات الأساسية. فإذا ابتدأنا بلولب مزدوج، فلابد من أن تنفصل السلسلتان بطريقة ما. ولابد من أن يكون هناك مصدر متاح للمكونات الأربعة التي يتألف كل منها من الجزء المعنى من العمود الفقاري-جزيء سكر ملتصق بجزيء فوسفات-بالإضافة إلى القواعد الأربع متصلة بالسكر. وهذا الجزيء الثلاثي يسمى النيوكليوتيدة أو النواتيدة. وهذه المكونات في الواقع ليس لها جزيء فوسفات واحد، وإنما بها صف من ثلاثة جزيئات، يفصل منهما اثنان في عملية البلمرة، فتتوفر بذلك الطاقة لدفع التخليق في الاتجاه المطلوب. وبالرغم من أننا نستطيع أن نتخيل أن تمضي العملية دون أي مكونات إضافية فإننا نتوقع-إذا كان النظام متطورا-أن نجد إنزيما واحدا على الأقل (أي بروتينيا له نشاط حافز) يقوم بإسراع التخليق ويجعله أكثر دقة.

هذه هي المتطلبات إجمالا. فإذا فحصنا نظام نسخ حقيقيا فسنجده أكثر تعقيدا. أولا، سنجد أن السلسلتين لا تنفصلان في البداية وقبل بدء التخليق. فتخليق السلاسل الجديدة يبتدئ أثناء عملية الفصل، لذا نجد بعض أجزاء اللولب المزدوج قد خلقت قبل أن تكون الأجزاء البعيدة قد فصلت. وهناك بروتينيات خاصة وظيفتها فك اللولب المزدوج مع أخرى

تستطيع أن تصنع ثلما في العمود لتسمح لسلسلة أن تدور حول أخرى، ثم تلحم السلسلة المكسورة مرة أخرى. ولأن سلسلتي اللولب المزدوج تجريان في اتجاهين متضادين، ولأن التخليق-كيميائيا-يسير في اتجاه واحد فسنجد أن التخليق يوجه إلى الأمام في سلسلة وإلى الخلف في أخرى. ولذا يجب أن تسمح الآلية بهذا التعقيد. أضف إلى ذلك أن أي قطعة جديدة من دن ا تبدأ كقطعة صغيرة من رن ا ثم تلتصق بها قطعة أطول من دن ا وسنجد بروتينيات إضافية تقطع خيط رن ا التمهيدي وتستبدله بجزء معادل من سلسلة دن ا، ثم تربط كل شئ بعد ذلك دون كسر. ولكي نخلق فيروسا صغيرا معينا من دن ا فإننا نعرف أننا نحتاج نحو عشرين بروتينيا مختلفا. يؤدي بعضها عملا ما بينما يؤدي بعضها الآخر عملا غيره. وهذا شئ مميز جدا للعمليات البيولوجية، إذ قد تكون الآلية الأساسية بسيطة، ولكن، إذا ما كانت العملية مهمة من الناحية البيولوجية فعندئذ-وبعد المدى الطويل من التطور سنجد الانتخاب الطبيعي وقد حسنها وطرزها لتعمل بشكل أسرع وأدق. وبسبب هذا الإتقان العجيب عادة ما تكون الآليات البيولوجية صعبة الفهم.

ولحسن الحظ أن هذه التعقيدات لا يلزم أن تعطلنا، كما سبق أن ذكرنا. ولابد من أن الكيمياء كانت بسيطة نسبيا عندما ابتدأت الحياة. وأهم ما يجب أن نعرفه هو أن الهندسة الأنيقة لزوج القواعد، التي تشكل الأساس خلف قاعدتي الاقتران، تعطي الفرصة للنسخ النوعي، حتى في النظم غير المعقدة. وقد رأينا أن الشيء الحاسم في دن ا لا يكمن في كونه لولبا مزدوجا. فالحقيقة أننا قد نجد المادة الوراثية لبعض الفيروسات البسيطة مجرد خيط واحد من دن ا، إذ قد تكون من القصر (طولها خمسة آلاف قاعدة لا غير) بحيث لا تحتاج إلى سلسلة ثانية كضمان ضد التلف. أما الملمح الأساسي فهو ضرورة أن تستخدم آلية النسخ بساطة إنتاج القواعد في بناء سلسلة جديدة، لها تتابع قواعد مكمل للسلسلة القديمة. إن هذه البساطة هي ما يغري بتصديق استعمالها في أقدم النظم الحية. أما بقاء السلسلتين-القديمة والجديدة-مترافقتين بعد النسخ فهو شئ أقل أهمية.

يلزم ألان أن نذكر كلمتين عن رن ا، القريب اللصيق لـ دن ا (سنصف الأنماط المختلفة للـ رن ا بشكل أوسع في الملحق). سبق أن ذكرنا أن البيانات

الوراثية في كل خلية من خلايا الكائنات العليا توجد مشفرة كتتابع قواعد مفصل لعدد من جزيئات دن ا الطويلة جدا. ونعرف أن الكثير من الأجزاء الأقصر من هذه التتابعات ينسخ في أي وقت بعينه على جزيئات رن ا ذات الخيط الواحد لتستخدمه الخلية كنسخ عاملة. وقد يستعمل البعض من هذه النسخ لأغراض بنائية، ولكن معظمها يستغل كـ رن ا رسول، أي كتعليمات لتخليق البروتين. ويتم هذا على تكوينات جزيئية معقدة جدا تسمى الريبوسومات، كما يحتاج إلى كميات كبيرة من العديد من الجزيئات المساعدة، ونخص منها بالتحديد مجموعة من جزيئات رن ا الناقل.

والنظام بلا شك معقد جدا، ولكن السبب في هذا يرجع أساسا إلى تعقد مهمته. فعملية صناعة نسخة رن ا وحيد الخيط عن جزء من الـ دن ا هي عملية مباشرة نسبيا ولا تحتاج لتوجيهها إلا إلى بروتين كبير نوعا. ولكن عملية تخليق البروتين باستخدام جزء من رن ا الرسول كتعليمات-أو ما يسمى عملية الترجمة-هي عملية بالضرورة أكثر صعوبة، لأن التعليمات مضمنة في لغة رن ا ذات الحروف الأربعة وتلزم ترجمتها عن طريق الآلية الكيميائية إلى لغة البروتين ذات العشرين حرفا. والحق أنه من العجيب أن توجد مثل هذه الآلية على الإطلاق، والأعجب أن كل خلية حية، حيوانية كانت أو نباتية أو ميكروبية، كلها تحوي شكلا منها. ولقد كان فك ألغازها واحدا من انتصارات البيولوجيا الجزيئية.

الخلية إذن مصنع دقيق يضج بالنشاط الكيميائي السريع المنظم. وفي وجود التحكم الجزئي المناسب تخلق الإنزيمات-في حمية-قطعا من رن ا الرسول (رن ا-ر)ثم يقفز ريبوسوم فوق كل جزئ ر ن ا-ر، ويتحرك فوقه، ويقرأ تتابع قواعده فينظم في شكل خيطي الأحماض الأمينية سويا (وتحملها إليه جزيئات رن ا الناقل، (رن ا-ن) ليصنع سلسلة بوليببتيدية تطوى على نفسها عندما تتم، وتصبح بروتينيا. وقد اخترعت الطبيعة خط التجميع قبل هنري فورد ببضعة ملايين من السنين. كما أن خط التجميع هذا ينتج الكثير من البروتينيات المختلفة عالية التخصص-أي أدوات الخلية وعدتها-التي تشكل، وتعيد تشكيل، الجزيئات الكيميائية العضوية لكي توفر المادة الخام لخطوط التجميع، وتوفر أيضا كل الجزيئات المطلوبة لبناء هيكل المصنع، ولتزويده بالطاقة ولتخليصه من النفايات ولكثير غير ذلك من

المهام. ولأن العملية معقدة جدا فلا يلزم أن يحاول القارئ أن يجهد نفسه مع كل التفاصيل. وكل ما يهمنا هو أنه بالرغم من كون الشفرة الوراثية عامة أو تكاد، فإن الآلية اللازمة لاحتوائها إياها من التعقيد مالا يسمح بظهورها بضربة واحدة، ولابد من أنها قد تطورت عن شئ أكثر بساطة. والحق أن المشكلة الكبرى في تفهم أصل الحياة هي محاولة تخمين الشكل الذي كان عليه هذا النظام الأبسط.

الأمر يستحق الآن أن نوازن ونقابل بين هذه العائلات الثلاث الكبيرة من الجزيئات العملاقة. البروتين، رن ا، دن ا. تتكون جزيئات البروتينيات من عشرين سلسلة جانبية مختلفة، بعضها نشيط نسبيا من الناحية الكيميائية، وهذا النوع من الجزيئات يعتبر أكثر قابلية للتحول مقارنا بجزيئات الأحماض النووية. ولهذا السبب سنجد أن كل الأنزيمات المعروفة تصنع من البروتينيات، ولو أن الأمر قد يحتاج في بعض حالات خاصة إلى جزيء عضوي صغير يعمل معها كمساعد أنزيم. وقدرة الأنزيمات على لقامة-أو كسر روابط كيماوية معينة هي التي تسمح للخلايا أن تؤدي وظيفتها أصلا، ولأن هناك عددا كبيرا من التفاعلات الكيماوية يحتاج إلى هذه الحوافز فإن هناك بالتالي عددا كبيرا من الإنزيمات.

ولن نجد في مقابل هذا أي حمض نووي ذي نشاط حافز، فلكل من رن ا ودن ا أربعة أنواع من المجاميع الجانبية بدلا من عشرين، وبالرغم من أنها مثالية بالنسبة لعملية النسخ، لأن قواعدها تتوافق جيدا، فإنها لن تعمل جيدا كحوافز كيميائية. ولكن آل رن ا والـ دن ا يستطيعان أن يفعلا مالا تستطيعه البروتينيات-فهما يكونان تراكيب تكاملية لها الشكل الذي نجده في اللولب المزدوج. ونحن لا نعرف طريقة يستطيع بها جزيء البروتين أن يقوم بهذه المهمة-على الأقل جزيئات البروتينيات الحديثة الموجودة الآن بسلاسلها الجانبية العشرين.

يشتبه معظم الكيميائيين المشتغلين بنشأة الحياة في أن رن ا ظهر في البداية أولا، أما دن ا فقد كان ابتكارا متأخرا. ورن ا-من الناحية الكيميائية-أكثر تفاعلا من دن ا، وربما كان تخليقه أسهل تحت الظروف البدائية للأرض، وبعد أن ازداد طول البيانات الوراثية تطلب الأمر وجود دن ا أكثر ثباتا ليقوم بمهمة نسخة الحفظ.

ظهرت الحياة كما نعرفها على الأرض كتخليق لنظامين من الجـزيـئـات العملاقة، فالبروتينيات بسبب طواعيتها الكبرى ونشاطها الكيميائي تقوم بكل العمل، ولكنها لا تستطيع نسخ نفسها بطريقة بسيطة. أما الأحماض النووية فتبدو مجهزة للنسخ، ولكن لا يمكنها القيام إلا بالقليل غير ذلك مما تستطيعه البروتينيات الأكثر إتقانا والأفضل إعدادا وعدة. فـ رن ا و دن ا هما الشقراوان الصامتتان في عالم جزيئات الحياة، المهيأتان أساسا للتكاثر (بالقليل من معاونة البروتينيات)، ولكنهما قليلتا الفائدة بالنسبة لمعظم الأعمال القاسية والملحة حقا. كانت مشكلة منشأ الحياة تغدو أسهل كثيرا لو أن هناك عائلة واحدة فقط من الجزيئات العملاقة، عائلة تستطيع أن تقوم بالمهمتين سويا: النسخ والحفز. ولكن الحياة كما نعرفها تستخدم عائلتين، وقد يرجع هذا إلى أنه لا يوجد جزيء عملاق يستطيع أن يؤدي كلتا المهمتين بكفاءة، وذلك بسبب الحدود الطبيعية للكيمياء العضوية، نعني بسبب طبيعة الأشياء.

ولكي نحرز أي تقدم لابد من أن نحاول أن نعرف شيئا عن الأوضاع الكيميائية والفيزيائية على الأرض البدائية، أو على أي كوكب بدائي. وسنفحص الآن هذا الموضوع.

٦ الأرض البدائية

ما هي المواد التي نحتاج إليها لتشكيل الأساس المادي للحياة؟ ترتكز الحياة التي نراها من حولنا على ذرات الكربون (C)، المرتبطة بالهيدروجين (H) والأكسيجين (O) والنيتروجين (N) بالإضافة إلى بعض الفسفور (P) والكبريت (S). ومن الممكن تركيب عدد هائل من الجزيئات الصغيرة المختلفة باستخدام هذه الأشكال القليلة للذرة-نقصد جزيئات عدد ذراتها أقل من خمسين مثلا-كما يمكننا تركيب عدد غير محدود من الجزيئات العملاقة المختلفة، كل منها يحتوي على الآلاف من الذرات. ثمة ذرات أخرى هامة، مثل الذرات ذات الشحنة (الأيونات) للصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكلور والكالسيوم والحديد، وبعض غيرها-ولكن هذه، في معظم الحالات، لا تشكل جزءا من الجزيئات العضوية، وإنما توجد أساسا بصورة مستقلة. ولكي تبدأ الحياة فلابد من أن الأمر قد احتاج إلى مصدر يمدها بمعظم هذه الذرات. فمن أين أتت ؟ وهل هي كانت في حالة مفردة أم في تجمعات بسيطة؟

حدث أن كانت الذرات الموجودة في الكيمياء العضوية كلها نشيطة التفاعل. فهي توجد مرتبطة،

حتى في الغلاف الجوي. وتشير الشواهد الكيميائية المباشرة إلى أن الهيدروجين يرتبط مع نفسه ليكون جزيئات H2، وكذا الأكسيجين O2 ليكون O2، والنيتروجين ليكون N2.

ونتوقع أيضا ارتباطات بسيطة مثل H2 O (الماء)، وN H3 (الأمونيا) وCO2 (ثاني أكسيد الكربون)، و C H4 (الميتان) وعددا غيرها. والغلاف الجوي الآن يتكون أساسا من الغاز الخامل جدا النيتروجين (N2) بالإضافة إلى نحو25٪ من الأكسيجين (O2)، والقليل من بخار الماء (H2 O)، ونسبة أقل من ثاني أكسيد الكربون (C O2).

كان من المعتقد أن الغلاف الجوي البدائي على الأرض كان مختلفا تماما. فلأن الهيدروجين هو إلى حد بعيد-أكثر العناصر وفرة في الكون، فمن الطبيعي أن نعتقد أنه كان يسود الغلاف الجوي البدائي. أما في وقتنا الحالي فإن الأكسيجين الموجود في الهواء-كله تقريبا-ينتج عن التمثيل الضوئي. ولم تكن هناك في الأزمان الأولى حياة على الأرض، وبذا فلا يمكن أن ينتج الأكسيجين بهذه الطريقة. ومثل هذا الغلاف الجوي، الغني بالهيدروجين الفقير بالأكسيجين، يسمى غلافا مختزلا، مقارنا بالغلاف الجوي الحالي الذي يسمى غلافا مؤكسدا. ويبدو أن تجارب التخليق قبل الحياتي-والتي سنتحدث عنها بعد قليل-تعضد هذا الاستنباط.

ولقد شُكك في هذه الأفكار مؤخرا. إن الهيدروجين خفيف حتى أن جاذبية الأرض لا تكفي للاحتفاظ به، ليفلت إذا بسهولة إلى الفضاء. ويتوقف معدل هروبه على عدد من العوامل، أهمها درجة الحرارة بأعلى الغلاف الجوي، فزيادة درجة الحرارة تجعل حركة الذرات والجزيئات أسرع، وتجعل خروجها إلى الفضاء أسهل. ويبدو الآن أن الكثير من الهيدروجين الأصلي قد أفلت بسرعة، حتى أن الأرض لم يسدها أبدا جو من الهيدروجين.

ماذا إذا عن الأكسيجين ؟ لا يمكن أن يكون قد أنتج عن طريق التمثيل الضوئي، ولكن، هل توجد طريقة أخرى معقولة؟ كانت هناك بالتأكيد وفرة من الماء على سطح الأرض البدائية، وبالذات أيضا في غلافها الجوي. وتحت الظروف المواتية، يستطيع الضوء فوق البنفسجي أن يحلل الماء إلى عناصره، فإذا ما هرب الهيدروجين الناتج من هذا التحليل إلى الفضاء تجمع الأكسيجين الباقي. وإذا ما سارت العملية على مستوى واسع فقد

يصبح الجو غنيا بالأكسيجين. وفي زمنها الحالي، وبسبب تعقد تركيب الغلاف الجوي، فإن هذه العملية لم تعد تنتج الأكسيجين بمعدل محسوس. ولكن هناك على الأقل احتمال أن تكون الأحوال في الماضي مختلفة تماما، بحيث كان الأكسيجين ينتج بشكل أكثر سخاء.

طبيعي أن الأكسجين والهيدروجين لم يكونا العنصرين الوحيدين بالهواء، فالأغلب أن كانت هناك أيضا كميات كبيرة من النيتروجين، وبعض الكربون وربما قليل من الكبريت، ولو أن هذين الأخيرين لم يكونا ليوجدا غير متحدين. وربما وجد غازا N2 وCO2 مع بعض مقادير أقل من CH4 و CO وربما أيضا NH3 وH2 S (كبريتيد الهيدروجين). أما الشيء غير الواضح فهو النسب المضبوطة لهذه المواد، وبالذات كميات H2 و O2.

ولأن الغلاف الجوي يتفاعل مع المواد الكيميائية الموجودة على سطح الأرض فإن التركيب الكيميائي لأقدم الصخور الرسوبية يمكن أن يعطينا مؤشرات عن تركيب الغلاف الجوي الأولى. وبعض هذه الصخور يشير إلى أنها قد تكونت تحت ظروف اختزالية، وقد اعتبر أن في هذا ما يعضد الفرض بأن الغلاف الجوي عندئذ كان اختزاليا. ولكن هذا الأمر أيضا قد غدا مؤخرا أمرا مشكوكا فيه. فحتى في أيامنا هذه توجد رسوبيات مختزلة- الأوحال النتنة، على سبيل المثال-بالرغم من وجود كل هذا الأكسيجين في الجو من حولنا. وعادة ما تحدث هذه الظروف عن التحلل اللاهوائي للمواد العضوية في الطين. ويدعى الآن أننا إذا أخذنا في الاعتبار كل الصخور المتاحة عن عصر معين فإن البراهين-في مجموعها-تشير إلى أن الغلاف الجوي كان مشابها تقريبا لما هو عليه الآن. ولكن هذا للأسف لا يعود بنا لأكثر من 2,3 بليون سنة. وتصبح البراهين قبل هذا مبعثرة للغاية، لأن المتاح من الصخور المناسبة ضئيل جدا. أما الاستنباط بأن الغلاف الجوي منذ 3,2 بليون سنة لم يكن مختزلا فلا يثير الكثير من الدهشة، لأننا نعتقد بوجود كائنات ذات تمثيل ضوئي منذ 3,6 بليون سنة على الأقل. والمؤسف أننا لا نستطيع الآن أن نكتشف مدى انتشارها عندئذ، وبالتالي فمن الصعب أن نقدر ما إذا كان إنتاجها من الأكسيجين كبيرا أم لا.

اختصارا، إننا نريد أن نعرف التركيب التقريبي للغلاف الجوي للأرض في زمن ما قبل وجود الحياة، وبالذات ما إذا كان مختزلا أو مؤكسدا. أما الآن،

فيبدو أن التوصل إلى أي استنباط محدد في هذا الصدد أمر صعب للغاية.

ودرجة حرارة الأرض البدائية هي أيضا غير مؤكدة بالدرجة نفسها، إذ تعتمد أساسا على سرعة تكوين الأرض، فإذا كان ذلك التكوين قد تم في فترة زمنية قصيرة فإن الحرارة التي تتولد عن التصادمات لم تكن لتجد الوقت الكافي للإفلات، وبذا تكون المراحل الأولى من عمر الأرض حارة جدا. أما إذا كان هذا قد حدث في بطء فإننا نتوقع أن تكون حرارة الأرض في بدايتها متوسطة، وعندئذ فلابد من أن توجد بعض مناطق ساخنة محدودة، بسبب التصادمات خلال الفترات النهائية للتجميع، ومهما كانت تفصيلات العملية فلقد استقرت الأرض في وقت ما وعليها ما يكفي من الماء السائل لتكوين المحيطات الأولية، والبحار، والأنهار، والبحيرات، والبرك.

وأيا كانت طبيعة الغلاف الجوي، فإنه قد تلقى قدرا كبيرا من الطاقة المتدفقة من الشمس. ونحن لا نعرف بالتأكيد مدى حرارة الشمس عندئذ، ولكن من الجائز أن إشعاعها لم يكن يختلف كثيرا عما نتلقاه منها الآن. ولكن ثمة اختلاف محتمل التأثير في الإشعاع الذي كان يصل سطح الأرض، وهو غياب طبقة الأوزون ($O3$) الموجودة حاليا بسبب خلو الغلاف الجوي عندئذ من الأكسيجين (إلا المتحد في صورة ماء وCO و $CO2$) فهذه الطبقة تحجب اليوم الكثير من الضوء فوق البنفسجي آلاتي من الشمس. وربما وجدت آنذاك عواصف كهربائية متكررة (تشبه العواصف الرعدية الآن)، وربما أيضا قدر كبير من النشاط البركاني فوق الأرض وتحت المحيطات. أضف إلى ذلك حدوث تفاعلات جزيئيه أيونية في الغلاف الأيوني، والغلاف الجوي الأعلى توفر مصادر أخرى متعددة للطاقة من النوع الذي يحتاج إليه التغير الكيماوي. كل هذا يشير إلى أن المحيطات البدائية لم تكن تتألف فقط من الماء وبضعة أملاح بسيطة، وإنما شملت أيضا تشكيلة واسعة من الجزيئات العضوية الصغيرة تكونت عن الجزيئات الموجودة في الغلاف الجوي وذابت في المحيطات، عن طريق الشحنات الكهربائية والضوء فوق البنفسجي وغيرها من مصادر الطاقة.

أما فكرة أن الغلاف الجوي لم يكن مشابها للغلاف الموجود حاليا، بل كان يحوي أكسيجينا أقل كثيرا، فقد تلقت تعضيدا مثيرا سنة 1953 من ستانلي ميلر-تلميذ هارولد أوري-عندما مرر تيارا كهربائيا في مخلوط من

CH_4 وNH_3 وH_2 و H_2O محتوى في جهاز مغلق. وكان هذا الجهاز عبارة عن قنينة ماء أغلى لتنشيط حركة الغاز فيه، وكانت وظيفة الماء تصيد ما قد يتكون من منتوجات طيارة قابلة للذوبان في الماء، وحمايتها من أن تفككها الشرارة الكهربائية. وبعد أسبوع أو نحوه أوقف التفريغ الكهربائي فوجد أن الماء يحوي تشكيلة من المركبات العضوية الصغيرة، منها كمية لا بأس بها من حمضين أمينيين بسيطين هما اجلايسين والألانين اللذان يوجدان في كل البروتينات. وقد أجرى منذ ذلك التاريخ العديد من التجارب المشابهة باستخدام مصادر مختلفة من الطاقة وظروف تجريبية متباينة، تشمل تمرير الغازات على أسطح معدنية ساخنة. وكانت النتائج أعقد من أن نلخصها هنا، إلا من حقيقة وحيدة لافتة للنظر. ذلك أن الجزيئات الصغيرة التي تنتمي للجزيئات الموجودة في النظم الحية لم تظهر إذا ما احتوى خليط الغازات على كميات معقولة من الأكسيجين. أما في غياب الأكسيجين في صورته الغازية، فإن هذه الجزيئات تظهر طالما احتوى خليط الغازات على النيتروجين والكربون بصورة أو بأخرى. وقد وجد أن بعض مخاليط الغازات تعطى تشكيلة أكبر من الأحماض الأمينية مقارنة بغيرها، لاسيما في غياب الهيدروجين. ونحن نفترض أن H_2 لم يكن له إلا أن يفقد في الفضاء عند بداية الأرض، أما في تجربة ميلر الأصلية، والتي تمت في وعاء محكم، فلم يكن للهيدروجين المتكون أن يترك الجهاز، وبذا فقد مضى يتجمع مع تقدم التجربة.

وعلى هذا، فإذا كان الغلاف الجوي مختزلا، فالأغلب أن الماء فوق الأرض البدائية كان يحوي خليطا مخففا من الجزيئات العضوية الصغيرة، قد يستخدم الكثير منها كمادة خام لأقدم النظم الحية. أما أي الجزيئات تكون، وبآي كمية وفي أي مكان-أكان ذلك في أعلى الغلاف الجوي، أو في المحيطات، أو بقرب البراكين تحت الماء، أوفي برك المد، أو في البحيرات الصغيرة، أو في الينابيع الحارة أو قرب شقوق البراكين، أو في هذه الأماكن كلها-فهذا لا يزال موضع جدل. والكثير من هذه الجزيئات ليس ثابتا في الماء على المدى الزمني الطويل، بحيث إن الكميات الموجودة في نهاية المطاف ستكون محصلة التوازن بين إنتاجها المستمر-خلال آلاف أو ملايين السنين- وبين تحطيمها في الماء بسبب الحركة الحرارية. ولمعظم الأحماض الأمينية

شحنة سالبة وشحنة موجبة، حتى أنها-بالرغم من صغر حجمها وبالرغم من أنها-في جملتها-متعادلة كهربائيا-تفضل أن تبقى في الماء على أن تهرب إلى الهواء. ولهذا السبب لم يكن لها أن تفقد عن طريق التبخر، لا ولم يكن لهذا «الحساء» -كما يسمى عادة-أن «يفسد» بالمعنى المعروف لهذه الكلمة، لأنه لم يكن هناك عندئذ كائنات حية دقيقة تعيش فيه وتستعمل جزيئاته كغذاء.

سألت مرة زميلي ليسلي أو رجل-الذي يبحث في منشأ الحياة-عن التركيز الذي يقدرونه لذلك الحساء، فقال إنه قد أجرى حساباته التقريبية، وانه يعتقد أنه يحتوي على المادة العضوية (التي ستكون أساسا في شكل جزيئات عضوية صغيرة) مثلما يحوي حساء الدجاج. صعقت أنا. مازلت أذكر بوضوح أنني مرة من المرات النادرة التي كان علي فيها أن أطهو عشائي بنفسي قمت بفتح علبة حساء دجاج، وأتذكر أن الحساء-إذا أهملنا أجزاء اللحم الصغيرة-كان خليطا غليظا دسما قشدي القوام. ولقد استبعدت أن يوجد محيط من حساء كهذا. ثم اتضح أن ما كان في ذهن أو رجل هو مرق الدجاج الرائق الخفيف. ولقد مضى أو رجل في الواقع إلى حد قياس كمية المادة العضوية في عينة منه. ربما لا نتفق جميعا مع تقديره ولكنه يعطي فكرة تقريبية عن المقدار الكلي للمادة العضوية الخام التي يظن بوجودها على الأرض قبل بدء الحياة.

أما إذا أسفرت الأمور عن أن الغلاف الجوي الأولي لم يكن مختزلا، وإنما يحوي قدرا معقولا من الأكسيجين فإن الصورة ستغدو أكثر تعقيدا. وقد نقول من النظرة الأولى: حيث إنه لم تكن هناك أي مادة خام مناسبة، فسيصعب بالتالي أن تبدأ الحياة هنا. وإذا كان هذا صحيحا حقا فإن ذلك سيعضد فكرة «البذور الكونية الموجهة»، إذ سيتوفر لبعض الكواكب في مكان آخر بهذا الكون غلاف جوي أكثر اختزالا (كما سنذكر في الفصل الثامن) ليتكون على أسطحها حساء ما قبل-الحياة الأكثر ملاءمة. ولكن، قد توجد ظروف مختزلة في بعض الأماكن على الأرض-تحت غلاف جوي مؤكسد-، مثلا، تحت الصخور، وفي قيعان البحيرات والمحيطات. وربما كانت هناك ينابيع حارة في قعور البحار هيأت حولها ظروفا مواتية لتخليق مواد ما قبل الحياة.

ثمة احتمال آخر هو أن تكون كميات محسوسة من الجزيئات الصغيرة الموجودة في الفضاء قد وصلت سطح الأرض عن طريق أو عن آخر، ربما

على مذنبات ارتطمت معها منتجة تجمعات موضعية من مواد كيميائية مناسبة. وحتى إذا لم تكن هذه المواقع الخاصة تشكل سوى نسبة صغيرة من سطح الأرض فسيكون منها ما يكفي لتسيير الأمور إذا افترضنا أن الحياة تستطيع أن تبدأ في يسر تام إذا ما وجدت البيئة الصالحة.

وبالرغم من كل هذه الشكوك، يبدو من المحتمل وجود قدر معقول من الماء على سطح الأرض في بعض المراحل الأولى من تاريخها، وأن الماء في مثل هذه المواقع كان عبارة عن محلول مخفف من جزيئات عضوية صغيرة ينتسب الكثير منها إلى المادة الخام اللازمة لتكوين البروتينيات والأحماض النووية-بالإضافة إلى أملاح مختلفة غسلت من الصخور المحيطة بها-. وربما كانت الظروف فيها مواتية تماما لبزوغ شكل بدائي جدا من الحياة، وقد نواجه هنا بصعوبة تحديد أي طور من هذه العملية المستمرة من التطور الكيميائي يمكن عنده اعتبار مثل هذا النظام البدائي جدا نظاما حيا.

إن اختيارنا لطور معين لابد من أن يكون-إلى حد ما-اختيارا عشوائيا. ولكن هناك معيارا واحدا يمكننا تطبيقه بنجاح لتحديد الخط الفاصل بين الحي واللاحي: هل يعمل عنده الانتخاب الطبيعي ولو بصورة بسيطة جدا؟ إذا كان يعمل فمن الممكن أن تصبح الواقعة النادرة شائعة. وإذا لم يكن فإن الواقعة النادرة لابد من أن تكون بسبب الصدفة وطبيعة الأشياء نفسها. إن لهذا المعيار أهميته، إذ ربما كانت الحياة-كما سنرى مجرد واقعة نادرة حقا، ويهمنا جدا أن نعرف بالضبط مدى ندرتها عند ذاك.

ما هو احتمال أن ينشا ذاتيا-عند وجود حساء من نوع أو من آخر نظام يمكن أن يتطور بالانتخاب الطبيعي ؟ تقابلنا هنا مشكلة هائلة. فآيا كان ما حدث خلال هذه الأزمنة الأولى فمن المؤكد أن النظام البدائي كان لابد له من أن يتطور في سلاسة إلى النظام الحالي الذي يرتكز على الحمض النووي من أجل النسخ، وتخليق البروتين من أجل الفعل. ونحن لا نستطيع أن نتأكد مما إذا كانت أقدم النظم التي ظهرت لم تكن مضمنة في شئ مختلف تماما، شئ هيأ المسرح للنظام الحالي. وحتى إذا لم يكن الأمر كذلك، وكان أول نظام ناسخ يحوي بعض العناصر الموجودة في نظامنا الحالي، فليس لدينا أي دليل عما إذا كان الحمض النووي هو الذي ظهر أولا، أم كان البروتين هو الأول، أم أن كليهما تطورا سويا. إنني متحيز إلى

أن الحمض النووي (الذي ربما كان رن ا هو الذي ظهر أولا، وتلاه بعد وقت قصير شكل بسيط من تخليق البروتين. ويبدو لي أن هذا هو أبسط الطرق. ولكن، حتى هذا الطريق يبدو مملوءا بالعقبات. ربما كانت الفوسفات شائعة، وربما كان من السهل أن يصنع سكر الريبوز (الذي لا يحوي أي نيتروجين) تحت ظروف معينة خاصة، فالمعروف أن الفورمالدهيد (HCHO) واحد من أكثر كيماويات ما قبل-الحياة انتشارا، غير أن الأمر ربما احتاج إلى مجموعة مختلفة من الظروف لتخليق القواعد-كقاعدة الأدينين-التي تحوي النيتروجين بالفعل. وهناك أيضا مشكلة ربط السكر بالفوسفات والقاعدة بالطريقة الصحيحة.(وهناك عدد من الطرق غير الصحيحة) ثم تنشيط هذا المركب (المسمى بالنواتيدة)، ربما عن طريق ضم جزيء فوسفات آخر أو جزيئين لتوفير الطاقة اللازمة لربط نواتيدتين سويا. وتكرار هذه العملية سيؤدي إلى الجزيء السلسلة الذي نسميه رن ا. وليس من السهل أن نعرف كيف يمكن أن يحدث هذا في مخلوط من مكونات أخرى مختلفة دون أن نضمن السلسلة كثيرا من الجزيئات غير الصحيحة، إلا في وجود حافز متخصص. يمكننا أن نتصور أن يكون هذا الحافز معدنا أو حتى ببتيدا ينتج من تجمع عشوائي من أحماض أمينية. ولكن هذا ما لم نستطع أن نثبته بطريقة مقنعة. وحتى لو كانت مثل هذه العملية قد حدثت، ولو في بركة واحدة بذاتها في زمن معين بذاته، فلن ينتج عنها إلا رن ا ذو تتابع قواعد عشوائي.

ويحتاج الانتخاب الطبيعي لكي يعمل، إلى آلية نسخ معقولة الدقة. هنا سنجد بصيصا من الأمل. فإذا كانت بلمرة آل رن ا شائعة بعض الشيء لسبب ما، فالمتوقع-على الأغلب-أن تؤدي بمرور الزمن إلى جزيء يشبه جزيئات رن ا-ن الذي يستخدم في زمننا هذا في تخليق البروتين. وقد تساعد أنشوطات هذا الجزيء في تكثيف النواتيدات في سلاسل قصيرة، كل ثلاث منها في سلسلة. وقد تكون هذه أفضل من النواتيدات الواحدة كطلائع لعملية النسخ.

فإذا كان النسخ هو كل المطلوب فسيبدو الـ رن ا مرشحا واعدا حقا. ولكن، بالرغم من أن النسخ وحده يمكن أن يسير النظام، يحتاج الأمر إلى شئ آخر بازدياد التنافس، إذ لابد من أن يفعل الجين شيئا قبل مضى وقت طويل إذا كان له أن يؤثر بوضوح في بيئته. وهنا سنجد أن الـ رن ا ليس هو

المثالي. إنه يستطيع حقا في الحالات المواتية أن يكوّن تراكيب ثلاثية الأبعاد، ولكن مثل هذه التراكيب نادرا ما يكون لها أي نشاط حافز. وربما توفر هذا النشاط عن طريق جزيئات عضوية، من نوع أو من آخر، موجودة بوفرة في الحساء المحيط به. وقد يكون البعض من هذه الجزيئات قد ارتبط جيدا مع بعض ثنيات جزيئات الـ رن ا لينتج «إنزيم» بدائي له قدر ضئيل من النشاط الحافز الفج. ولو أننا لم نجد حتى الآن من قد حاول أن يكتشف مثل هذه الوحدات الكيميائية.

ثمة بديل اكثر جاذبية، وهو أن يكون الجهاز البدائي لتخليق البروتين قد ابتدأ فقط بجزيء رن ا-رسول ورن ا-ن (آي الناقل)، نقصد دون ريبوسومات أو بروتين. وهذا احتمال واضح المعالم، ولكنه بر يتلق بعد أي تعضيد تجريبي. ومثل هذا النظام-إذا نجح-سيتغلب على معظم الصعوبات التصورية، وإن بقيت بعض المشاكل-مثلا-، كيف يجذب الحامض الأميني «الصحيح» لكل من أنماط ر ن أ الناقل ؟

فإذا ما ابتدأ تخليق الـ رن ا ونسخه، فإننا نتوقع أن تنتج حوافز بسيطة تسرع كل هذه التفاعلات الكيميائية الأولى وتجعلها أكثر كفاءة، ومن هنا يمكن للانتخاب الطبيعي أن يعمل لتهذيب النظام وتطويره. وبرغم ما في هذا من سحر، فإن أحدا لم يقدم تصورا لتفاصيل طريقة عمله ثم اختبر ذلك تجريبيا.

لدينا إذا أسباب للبحث عن بدائل أخرى. هناك مرشح آخر للناسخ الأولي، وهو أن يكون نوعا البروتين البدائي. ولهذا المرشح سحره الخاص، إذ يكاد يكون من المؤكد أن الحساء الأولى كان يحتوي على بعض الأحماض الأمينية وربما على عدد كبير من أنماطها أيضا، باستثناء حمض الجلايسين (الذي ليس له يد). فالمتوقع أن توجد الأحماض الأخرى كخليط من نسب متساوية تقريبا من كلا «اليدين» المحتملتين. والصعوبة هنا تكمن في أنه لابد من أن تقترن الأحماض الأمينية بنفس السهولة التي تقترن بها قواعد الأحماض النووية. ولم يكتشف أحد لولبا مزدوجا بروتينيا. وبالرغم من أن الكولاجين البروتيني (في أوتار العضلات وفي الجلد.. . الخ) يتكون من ثلاث سلاسل بوليببتيدية يلتف كل منها حول الأخريين لتشكل لولبا ثلاثيا، ويجب أن يتكرر حمض الجلايسين مرة كل ثلاث قواعد، إلا أننا لا نستطيع

أن نلحظ تفاعلا واضحا يحدد الأحماض الأمينية على الموقعين الآخرين. وللكولاجين-بالإضافة إلى ذلك-تركيب منتظم نوعا ما. ويبدو أنه خامل كحافز. فإذا نجح عالم في أن ينتج شكلا بسيطا من البروتين-مكونا من أربعة أحماض أمينية-أمكنه أن يشكل أساس عملية نسخ بسيطة (كما يفعل رن ا و دن ا فإن هذا سيكون اكتشافا هائلا. وإلى أن يحدث هذا فإن الادعاء بان البروتين كان هو الناسخ الأولي لابد من أن يؤخذ بتحفظ.

وهذا لا يعني أنه لم يكن في مقدور البلمرة العرضية أن تنتج جزيئات شبه بروتينية قد تساعد في البناء قبل أن يحدث النسخ الحقيقي. ولكن عملية النسخ هي العملية المطلوبة إذا كان للانتخاب الطبيعي أن يعمل بحرية. هناك دائما إمكانية أن يكون نظام النسخ الأولي نظاما مختلفا تماما، نظاما أهمل في نهاية الأمر-ليحل محله النظام الحالي-بسبب قبحه أو عدم مرونته. ومن الصعب أن نرفض هذه الفكرة، وعلينا على الأقل أن نتخيل طريقة استبدال هذا النظام القديم-أيا كان-بالنظام الحالي الذي يرتكز على الحمض النووي والبروتين. وقد اقترح أن التراكيب الصلصالية ذات الطبقات قد تكون مناسبة، ولكن ليس من السهل أن نتصور تفصيلا طريقة عملها، كما لم تظهر حتى الآن أي براهين تجريبية مثيرة لمثل هذا السلوك*.

وهكذا يبدو أنه من المقبول تماما أن الناسخ الأول كان هو الـ رن ا. وهذا الفرض قد يعضد كثيرا إذا أمكننا أن نركب نظاما بسيطا داخل أنبوبة اختبار، دون أن نستخدم أي بروتين. ولتسهيل ذلك فقد نبتدئ بخيط رن ا جاهز ذي تتابع قواعد اعتباطي، ثم نحاول أن نصنع رفيقه المكمل له بتوفير المواد الخام اللازمة، وهنا سنحتاج إلى أربعة أشكال منها بجانب صورة من صور الطاقة الكيميائية لحث التفاعل. ولقد أجريت مثل هذه التجارب، ولم تحقق حتى الآن إلا نجاحا متواضعا. وكان أفضلها حتى اليوم ما قدمه ليسلي أو رجل وزملاؤه: حامض بوليسيتيديليك (بولي س) الذي يعمل كقالب -أي رن ا كل قواعده من السيتوزين-وفر له جوانين (ج) منشطا كيميائيا (وهو القرين الطبيعي للقاعدة س). وفي وجود أيونات الزنك (Zn^{++})-وهو أيون يوجد بكل الأنزيمات الحالية التي تقوم ببلمرة الحمض

* اقرأ في هذا ا. ا. ج كيرنز-سميث (1986)، «الأحياء الأولى»، «علة العلوم» (الترجمة العربية لمجلة العلوم الأمريكية)، الكويت، العدد التجريبي الثاني 90-100. [المراجع].

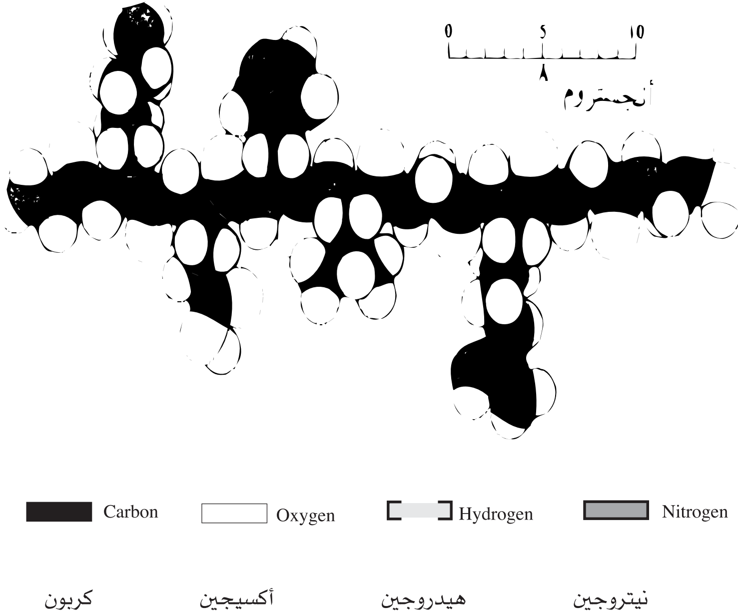
النووي- تقوم ج في بطء بالالتصاق سويا في الشكل الصحيح للترابط (الذي يسمى 3- 5َ) لتصنع سلسلة بولى ج ذات طول معقول. هنا سنلحظ في المزيج جزيئات يبلغ طولها 40 ج في سلسلة واحدة، وربما كانت هناك سلاسل أطول، بكميات أقل من أن يلحظها الفاحص. وهذا النظام دقيق من حيث إنه لا يتضمن إلا مقادير قليلة من ا، ى («كأخطاء») إذا ما أضفنا مكوناتها الأصلية إلى المزيج. وهذه بداية مبشرة، غير أنه يلزمنا أن نجد النسخ المضبوط (المكمل) لتتابع معين من الـ «س»، والـ «ج» إذا كان لهذه البداية أن تنجح. وهذا ما لم يحدث حتى الآن. وبالمناسبة، ليس من الضروري أن يحتوي النظام الأصلي على القواعد الأربع كلها، لأنه من الممكن لجزيء رن ا ذي نوعين فقط منها أن يضمن البيانات في تتابعه، غير أن هذين لابد من أن يكونا متكاملين إذا كان للنسخ آن يصبح جيدا.

وحتى إذا أمكن التغلب على هذه المصاعب فإن النظام برغم بساطته قد غدا بالفعل مغالى فيه بعض الشيء. فهو على سبيل المثال نقي إلى حد غير طبيعي، ومن الصعب أن نتخيل كيف يمكن أن تنشأ بركة فيها هذه المكونات وحدها، لا غيرها، على سطح الأرض البدائية. كذلك ليس من الميسور لنا أن نعرف على وجه التحديد كيف ظهرت تلك الطلائع. قد نتوقع أن تكون هذه الطلائع هي ثلاثي فوسفات النكليوسيد-بصيغة أبسط: جزيئات مكونة من قاعدة سكر (ريبوز) مع ثلاث فوسفاتات-ولو أن هذه لم تكن بالضبط المكونات التي استخدمت في التجربة التي وصفناها الآن. ومن الممكن أن نتصور كيف يمكن أن ينشأ كل واحد من هذه المكونات في مكان أوفي آخر على الأرض البدائية ولكن لا يمكننا بنفس السهولة أن نتخيل كيف حدث التجمع الصحيح، ولا كيف انعزل-على الأقل جزئيا-عن جزيئات أخرى مشابهة يمكن-إن وجدت-أن تفسد نظامه. وليس هناك بكل تأكيد من تمكن من أن يطبخ حساء بدائيا من ماء وأملاح وبعض الغازات، والضوء فوق البنفسجي (أو غيره من مصادر الطاقة) وتركه ينضج لينشأ منه نظام رن ا ناسخ أنيق. وليس هذا الإخفاق بالمستغرب كثيرا، فلقد تطلب الأمر من الطبيعة بضعة ملايين من السنين وعلى أماكن كثيرة فوق سطح الأرض قبل أن يحدث بالصدفة تجمع سعيد لظروف نشأ عنها نظام استطاع أن يبدع النسخ، ثم يستمر هذا النسخ فترة من الزمن.

نحن إذا في وضع تعذبنا فيه الآمال الكاذبة. فنحن نعتقد-من ناحية-أنه

ربما قد كان هناك على سطح الأرض مدد معقول كاف من الجزيئات العضوية، وبالذات من الأحماض الأمينية حتى وإن كان تركيزها في معظم المواقع منخفضا. كما أن اللولب المزدوج أل رن ا أو آل دن ا يشير بالتأكيد إلى أنه قد يشكل أساسا جيدا لنظام نسخ بدائي. ومن الناحية الأخرى سنجد أنه من الصعوبة بمكان أن نعرف كيف يمكن أن ينشأ نظام دقيق عن مثل هذا المزيج المعقد، والأصعب أن نتخيل المكونات اللازمة والخطوات المضبوطة التي اتبعت. أضف إلى ذلك أنه لو أمكن وتصورنا كيفية نشوء نسخ الـ رن ا، فستظل أمامنا مشكلة أنه رافق شكلا لتخليق البروتين أكثر بدائية، ولو أننا نستطيع أن نبتدئ في تكوين تخمينات واعية عن الطريقة التي قد يكون قد تم بها هذا.

شكل (5)



يوضح الشكل بوليببتيدا قصيرا ممتدا يبلغ طوله تسعة أحماض أمينية. والعمود الفقاري للسلسلة منتظم، تتصل به مجموعات جانبية على مسافات منتظمة.

إن الشيء المحبط بغرضنا الحالي هو أنه يستحيل على ما يبدو أن نعطي أي قيمة رقمية لهذا الاحتمال المستبعد لتتابع الوقائع. وقد نستطيع أن نرى الصعوبة بشكل أوضح إذا تتبعنا الجدل الفج التالي: دعنا نفترض أن الواقعة حدث في بركة ما أو بحيرة، ربما بجوار شواطئ البحر. ويمكننا أن نتصور بسهولة وجود بحيرة من هذا القبيل كل ميل على طول هذه الشطوط، بجانب غيرها المنثورة على سطح الأرض. ربما كان هناك مائة ألف بحيرة كهذه، وقد يكون العدد أكبر من هذا كثيرا. دعنا نفترض أيضا أنه تحت المعدل البطيء الذي تعمل به هذه النظم، قد يحتاج الأمر إلى مائة عام ليسير الواحد منها. افرض أن الاحتمال البسيط جدا لحدوث هذه الواقعة في مائة عام يساوي «س». ربما كانت قيمة «س» هذه تساوي واحدا في البليون. ولكن، لأن لدينا خمسمائة مليون عام ومائة ألف بحيرة صغيرة فسنجد أن ظهور الحياة يكاد يكون مؤكدا. فإذا كانت قيمة «ص» تساوى واحدا في البليون بليون فإن بزوغ الحياة سيظل محتملا. فإذا بلغ الاحتمال واحدا كل 10 15 (أي واحدا في الآلف بليون بليون) عندئذ تكون فرصة ظهور الحياة صغيرة جدا. والأرقام المضبوطة لاتهم كثيرا، إنما نستخدمها فقط لتوضيح الورطة. وهذا ينبع من حقيقة أنه ليست لدينا أي فكرة عن القيمة التي قد تكون عليها «س»، سوى أنها «صغيرة». ولهذا السبب يستحيل أن نقرر ما إذا كان أصل الحياة هنا واقعة نادرة للغاية، أم أن حدوثها يكاد يكون مؤكدا. وبالرغم من كل الجدل الذي يطرح أحيانا معضدا الرأي الأخير، فإنه يبدو لي زائفا، وسيظل هكذا حتى نجد التعضيد التجريبي المباشر. والوصول إلى التعضيد التجريبي لما كان-على الأغلب-سلسلة من التفاعلات النادرة لن يكون سهلا بحال. ولن نتمكن من إنتاج الحياة في المعمل-في المستقبل القريب على الأقل-إلا إذا كان بدء الحياة سهلا جدا بسبب وجود بعض المسالك المباشرة خلال متاهة الاحتمالات.

إن الرجل الأمين المسلح بكل المعرفة المتاحة لنا ألان لا يستطيع أن يقول اكثر من أن نشأة الحياة تبدو شيئا أقرب ما يكون إلى المعجزة فالمتطلبات التي كان لابد من أن تشبع لبدئها كثيرة للغاية. ولكن هذا لا يجب أن يؤخذ على أنه يعني أن هناك من الأسباب الوجيهة ما يجعلنا نعتقد أنها لا يمكن أن تكون قد بدأت على الأرض عن طريق تتابع معقول تماما من التفاعلات

الكيميائية العادية. إن الحقيقة الواضحة هي أن الزمن المتاح كان طويلا جدا، وأن البيئات الصغيرة الكثيرة على سطح الأرض كانت متباينة للغاية، وأن الاحتمالات الكيميائية المختلفة كانت كثيرة حقا، وأن معرفتنا وخيالنا أضعف من أن يمكنانا من كشف الطريقة التي يمكن-أولا يمكن-بها أن تكون قد حدثت من زمن سحيق خصوصا وأننا لا نملك أي دليل تجريبي باق من هذا العهد نقيس عليه أفكارنا. قد نتمكن في المستقبل من أن نعرف ما يكفي لنكون تخمينا مدروسا، ولكنا الآن لا نستطيع أن نقول اكثر من أننا لا يمكن أن نقرر ما إذا كانت نشأة الحياة على الأرض واقعة تكاد تكون مستحيلة، أو أن حدوثها يكاد يكون مؤكدا-أو أن هناك احتمالا آخر يقع بين هذين الطرفين.

فأما إذا كان حدوثها مؤكدا فلن تكون هناك مشاكل. وما إذا ظهر انه يكاد يكون منعدما فعلينا عندئذ أن نأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت قد نشأت في أماكن أخرى بالكون تكون ظروفها-لسبب أو لآخر أكثر ملاءمة.

7 زيف إحصائي

بالرغم من تشككنا في كيفية بداية الحياة فإننا لا نشك في وجودها الآن وفي وفرة نشاهدها حولنا في كل مكان. المؤكد أن بعضهم قد يجادل بالقول إنه إذا كانت الحياة قد بدأت مرة فلنا أن نثق في أنها قد تحدث ثانية. وطبيعي أننا لا نتوقع أن تبدأ الحياة الآن مرة أخرى، فبجانب اختلاف الظروف الحالية عن ظروف ما قبل-الحياة، فقد يبدو من المحتمل جدا أن تبتلع الكائنات الموجودة بالفعل أي نظام جديد قد يقوم الآن. وهذه النظرة حديثة نسبيا . فحتى القرن التاسع عشر كان من المعتقد أن الحياة قد تنشأ من جديد، الآن وهنا، في المستنقعات والمنقوعات واللحم المنتن وغيرها من الأماكن الملائمة. وهناك تقارير عديدة عن سوس وذباب وحتى فئران ظهرت بهذه الطريقة. وقد تسببت البحوث القديمة التي قام بها ريدى Redi وجوبلو Joblot وسبالا نزانى Spallanzani في بذر الشك في هذا، ثم أظهر البحث الدقيق الذكي الذي أجراه باستير أن كل هذه الادعاءات لابد من أن تكون خاطئة، فقد استطاع عن طريق جهاز عبقري التصميم أن يحطم كل الاعتراضات التي قد يفكر فيها ناقدوه، واحدا وراء الآخر. وأن يبين بطريقة

لا تدع مجالا للشك أنك إذا استخدمت جهازا معقما فلن يظهر أثر لأي حياة حتى في أغنى المخمرات وأكثرها إغراء، حتى في وجود منفذ حر للهواء، إذا ما اتخذنا الاحتياط لمنع أي كائن حي دقيق من الوصول إلى وعاء التجربة.

والأسئلة التي تهمنا أسئلة مختلفة. فإذا ابتدأت الأرض من جديد (بتغييرات طفيفة حتى لا تحدث الوقائع نفسها تماما)، فهل نتوقع أن نرى الحياة مرة ثانية؟ ولنصل إلى صميم الموضوع: إذا وجد كوكب مشابه للأرض في مكان ما، فما هي احتمالات أن تبدأ الحياة عليه ؟ هناك-حتى في هذه الحالات-دافع سيكولوجي قوي يدفعنا إلى الاعتقاد بأن مثل هذه الوقائع لابد من أن تكون محتملة جدا بسبب المثال الذي قام على الأرض. ولكن هذا الجدل-بكل أسف-جدل زائف. ولا أعرف ما إذا كان لهذه الطريقة في التفكير اسم، ولكنا نستطيع أن نطلق عليها اسم «الزيف الإحصائي». وأبسط طريقة لتفهم السبب في كونها خاطئة هو أن نفكر في أي واقعة محددة تكون واحدة من وقائع كثيرة جدا لها احتمالات مشابهة. وفي رزمة ورق اللعب مثال طيب لهذا الوضع.

تصور الرزمة المعروفة لورق اللعب المكونة من 52 ورقة، وقد «فُنطت» جيدا ثم وزعت عشوائيا على أربعة أفراد، 13 لكل، دون غش. ما هو احتمال أن يحصل كل فرد على مجموعة بعينها من الأوراق ؟ دعنا نختر طريقة سهلة التحديد، وهي أن يكون شكل كل أوراق المجموعة الأولى «قلباً»، والثاني «ديناري»، والثالثة «بستونيا» والأخيرة «اسباتيا»، وطريقة التقسيم لا تؤثر في النتيجة طالما حددنا الأوراق المطلوبة في كل مجموعة. من السهل أن نحسب احتمال حدوث هذا إذا ما وزعت الأوراق مرات ومرات من رزمة عشوائية. إن هذا الاحتمال سيساوي 5*10 28. تذكر أنه في كل مرة توزع فيها الأوراق سيحدث احتمال أو آخر من هذه الاحتمالات. ولأن حساباتنا ستنطبق بنفس الشكل على هذا التوزيع، فإن احتمال حدوث أي مجموعة سيكون نادرا للغاية، ورغم ذلك فها هي أمامنا على المنضدة. لابد من أن هناك شيئا خاطئا.

إن الخطأ هو أنه لكي يمكن تطبيق حساباتنا فلابد من أن نقرر مقدما ما نطلبه في مجموعة الأوراق، فلا يصح أن نوزع الأوراق أولا ثم ندعى أن النتيجة التي حدثت هي التي نبحث عنها. يمكننا بالطبع أن نوزع مجموعة

ثم نقول إن هذه هي التوليفة التي سنختارها، أما الاحتمال الضعيف الذي حسبناه فسيكون هو فرصة الحصول على هذه التوليفة نفسها عند التوزيع التالي، بفرض أن الرزمة قد وزعت توزيعا عشوائيا. ويمكن تطبيق هذا الجدل على أي مجموعة مطلوبة من الأوراق، بحيث يمكننا أن نجد طريقة أخرى للنظر في الرقم 5×10^{28} وهي أن نقول إنه فرصة توزيع أي مجموعة لأربعة أفراد مرتين متتاليتين.

يمكننا أن نفهم هذا بطريقة أخرى. يمكننا أن نقول إن تركيب أي ترتيب لأوراق اللعب-في حد ذاته-لا يقول لنا-عمليا-أي شئ عن فرصة حصول كل من اللاعبين الأربعة على أوراقه نفسها مرة ثانية. إن هذا الترتيب يعرفنا أن الرزمة التي معنا والمؤلفة من 52 ورقة رزمة صحيحة، ولكنه لا يقول شيئا عن احتمال أن يحصل كل فرد على أوراقه نفسها إذا أجرى التوزيع مرات ومرات متوالية. ويمكننا أن نقدر هذا الاحتمال إذا عرفنا كل المقاييس وعدد الأدوار التي سنقوم بها قبل أن نكف عن المحاولة. وإذا كان من الممكن أن نعرف هذا بالنسبة لرزمة أوراق اللعب فإن وضع ما قبل-الحياة أكثر من ذلك تعقيدا. هناك أيضا عامل إضافي آخر، وهو أننا لا نحاول عادة أن نحسب احتمال حدوث واقعة مطابقة مرة ثانية، فكل شكل من أشكال الحياة المشابهة لما هو موجود الآن يعتبر معمولا، وحدوثه يعتبر نجاحا. ولعل في مقارنة هذا بأوراق اللعب ما يوضح ما نقوله. لقد طلبنا أن يكون نصيب اللاعبين الأربعة هو: القلب للأول، الديناري للثاني، البستوني للثالث والاسباتي للرابع، بهذا الترتيب. ولكن، لو افترضنا أن نقبل أن يكون نصيب الفرد صحيحا إذا كانت أوراقه كلها من شكل واحد، عندئذ سنجد أن احتمال النجاح سيبلغ 24 ضعفا للحالة التي وصفناها، لأن هناك توزيعات محتملة أكثر ستفى بالشروط. فإذا ما عدنا إلى أصل الحياة، فسنجد أن عدد الأشكال المتماثلة-وليست المتطابقة-من الحياة عدد هو الآخر مجهول، ولن يفعل أكثر من أن يضيف إلى شكوكنا.

إن هذه النقطة الأخيرة موجودة بشكل ما في جذور مشكلتنا. فبرغم أن احتمال بدء الحياة في وقت محدد بمكان معين يبدو ضئيلا جدا، هناك أماكن كثيرة محتملة على الأرض، ووقت هائل، بحيث لا نستطيع أن نتأكد إذا ما كان من الممكن أن تتغلب هذه العوامل على ضآلة الاحتمال في

حدوث واحد منها، ليحيل الواقعة النادرة إذ واقعة شبه مؤكدة. ولكن تفكير لحظة، سيبين أننا لا نمتلك من الحقائق ما يعضد هذا الاستنباط. ولقد أوضحنا في الفصل السابق أن الاحتمال العام مجهول تماما، وأنه يتحدد بما قد نعرفه عن قيم الأرقام المختلفة.

ثمة سبب خاص يدعو لانطباق «الزيف الإحصائي» وبقوة، في حالتنا هذه، ذلك أنه إذا لم تكن الحياة قد ابتدأت هنا (بطريقة أو بأخرى) فلم نكن لنوجد هنا نفكر في المشكلة. فحقيقة وجودنا هنا فعلا تعنى بالضرورة أن الحياة بالفعل قد ابتدأت. ولهذا السبب-وهو سبب كاف في حد ذاته-لا يمكننا أن نستعمل هذه الحقيقة مباشرة في حساباتنا.

ويبدو أننا نلمس قصورا ذهنيا بشريا ملازما عند مواجهة قضايا الاحتمالات. فالبشر وربما أيضا بعض الحيوانات-ينزعون دائما إلى التعميم من مثال واحد. ومن المهم أن نعرف التعبير الفني لهذا-إنه «الإيمان بالأوهامSuperstition<، بالرغم من أن الكثير من أشكال هذا الإيمان به عنصر عاطفي. كما أن تفهم الأرقام الكبيرة يتعبنا، ولذلك يسعدنا أن يكون حاصل ضرب رقم صغير جدا في آخر كبير جدا رقما مألوفا، كاحتمال يقترب من الواحد الصحيح مثلا. إن اليقين شئ قريب من قلوبنا دائما، مهما كان خداعه لنا في الواقع. والطريقة الوحيدة للتخلص من هذه المعوقات السيكولوجية-وهي حقا معوقات في الأمور العلمية، بغض النظر عما قد يكون لها من أهمية في التطور هي أن تعرض القضية في برود وفي وضوح. قد يكون رد الفعل الفوري الجريء نافعا في التجارة أو السياسة، أو في حياتنا الشخصية لأنه يمثل تعميما غير واع نتج عن خبرة سابقة، خبرتنا نحن أو خبرة أسلافنا المنقولة في الجينات، ولكنا عندما نناقش نشأة الحياة فلن نجد لدينا واقعيا أي خبرة كهذه ترشدنا، ليصبح رد الفعل الفوري-دائما-سطحيا ومضللا، بل يكون رد الفعل هذا أقل نفعا عند معالجة تطور حياة مستقلة في أماكن أخرى. إن معرفتنا، مثلا، عن الكواكب في نظامنا الشمسي نفسه محدودة، كما أنا لا نكاد نعرف شيئا على الإطلاق عن الكواكب-الدائرة حول النجوم الأخرى إلا اليسير وعن طريق استدلال غير مباشر. وربما كانت هناك أماكن كثيرة في الكون ملائمة لنشأة الحياة، وربما كان للبعض منها ظروف أفضل من أرضنا هذه. وسنتحول ألان لنعالج هذه المشاكل.

8 كواكب أخرى ملائمة

إن اهتمامنا الأساسي ينصب على الحياة كما نراها هنا، الحياة التي ترتكز على مركبات كربونية تذوب في الماء. هناك كون يواجهنا له اتساع رهيب، عالم فارغ في معظمه، به أماكن عرضية خاصة تلائم شكلا من الحياة لا يختلف عن الحياة على أرضنا. ترى.، كم نتوقع أن يكون عدد مثل هذه المواقع ؟

ربما كان وجود الماء السائل هو أهم المتطلبات على الإطلاق. والماء نفسه مركب شائع جدا على الأغلب، ولكن يلزم أن يوجد في بيئة ليست باردة للدرجة التي تحيله إلى صورته الصلبة، الثلج، وليست حارة لتبخره كله. ويمكن تفهم المشكلة بوضوح بالتعبير عن الحرارة في صورة درجات كلفن Kelvin[1] (O ك) أو ما يسمى بالمقياس المطلق. وهذا المقياس يعتمد على درجات الحرارة المئوية أو السيليزية Celsius [2] التي يتجمد فيها الماء تحت الضغط الجوي القياسي على درجة. م ويغلي على درجة 100ْ م. ويظل الفارق في المقياس المطلق بين النقطتين واحدا: 100ْ، ولكن درجة الصفر تؤخذ-مع شئ من التجوز-على أنها الصفر الحراري المطلق أو بشكل أبسط، درجة الحرارة التي تتوقف عندها

كل الحركة العشوائية. وفي هذا المقياس ينصهر الثلج عند نحو 273ْك ويغلي الماء على حرارة أعلى من هذه بمائة درجة أي نحو 373 ك. يلزمنا الآن أن نقارن هذين الرقمين بالبرودة الموحشة للفضاء الذي تبلغ حرارته، بالتقريب الكثير، نحو 4 ك، أي أكثر قليلا من الصفر المطلق وبدرجة حرارة سطح الشمس التي تبلغ نحو 5000ْك ولأننا نحتاج إلى حرارة في حدود 300 ْك، فسنلحظ فورا أننا نحتاج إلى مكان قريب فعلا من أحد النجوم، بشرط ألا يكون قريبا جدا. فالكون في معظمه ليس فقط فارغا للغاية، وإنما هو أيضا بارد جدا. وتفترض هذه المناقشة البسيطة جدا أن ضغط الغاز على سطح الماء سيكون مشابها تقريبا لضغط الغلاف الجوي فوق سطح الأرض. ولكن، لو كان الضغط أعلى لأمكننا أن نتحمل حرارة أعلى بعض الشيء، بينما يظل الماء سائلا. ولو أن الضغط يغير-إلى حد محدود فقط-من المدى المحتمل للحرارة.

أما المطلب الأساسي الثاني فهو ألا تتطاير جزيئات الماء إلى الفضاء. سيكون هناك دائما بعض من بخار الماء في الغلاف الجوي فوق الماء السائل، أيا كانت الحرارة والضغط. وما لم تكن قوى الجاذبية كافية، فإن السرعة الناشئة عن الحركة الحرارية ستسمح لبعض الجزيئات أن تنطلق إلى أعلى بسرعة رهيبة لتهرب إلى الفضاء،

بدلا من أن تسقط ثانية إلى الأرض بفعل الجاذبية. تبلغ سرعة الهروب للصاروخ الذي نطلقه من سطح الأرض نحو سبعة أميال في الثانية، بينما سنجد أن متوسط سرعة انطلاق جزيء الماء عند درجة حرارة الغرفة تبلغ أكثر قليلا من سرعة الصوت، أي نحو خمس ميل في الثانية. هذا هو المتوسط فقط، ولكن هناك نسبة محسوسة من جزيئات الغلاف الجوي

---

(1) «لورد كلفن» هو عالم الفيزياء الاسكتلندي «وليم طومسون» (1824- 1907)، الذي اشتهر ببحوثه في الدينامية الحرارية. وقد وضع مقياسه (المشروح في المتن) عام 1848، معتمدا على ما اسماه «درجة الصفر المطلق» (-15 , 273ْ مئوية). ووحدة «كلفن» تساوي درجة مئوية واحدة [المراجع].

(2) في اللغة الإنجليزية يشترك اللفظان Centigrade (مئوي) و Celsius(سيليزي) في البداية بالحرف C، ولذلك لا يختلف الرمز بالحرف الأول لمن يريد أن يأخذ بأي من المنحيين. أما في العربية فليس أمامنا إلا أن نستخدم الرمز «م» (وهو الأشيع) أو الرمز «س» (وهو الآن الأصح عند الكثيرين) [المراجع].

تنطلق بسرعة أكبر من هذه كثيرا خصوصا عند درجات الحرارة العليا، غير أن هامش الأمان متسع بما يضمن ألا نفقد إلا القليل جدا من الجزيئات التي في حجم H_2O وO_2 وN_2. أما الجزيئات الأخف، مثل جزيئات H_2 فهي تتحرك بسرعة أكبر، ذلك لأن الجزيئات الأكبر التي تصطدم بها تدفعها بشكل أعنف بسبب كبر كتلتها(كتلة H_2 =2، كتلة H_2O=8 ، كتلة N_2=28) وعلى هذا تدفع جزيئات الهيدروجين الجزيئي أو الذري طوال الوقت إلى خارج الغلاف الجوي. ومن الناحية الأخرى سنجد أن كتلة القمر-برغم حجمه المعقول-أصغر من أن تستبقى أيا من الغازات المعروفة لأي فترة زمنية، وعلى هذا، فلو كان للقمر يوما غلاف جوي فلا بد من أنه فقد خلال الملايين العديدة من السنين منذ تكوينه.

فإذا ما تفحصنا تفصيلا مسالة الغلاف الجوي للكواكب فسيظهر تعقيد ما، فهي لا تعتمد فقط على كمية ونوع الطاقة التي يشعها النجم الأم وبعده عن الكوكب، وإنما أيضا على عوامل أخرى مثل القدر من الطاقة الذي يعكسه سطح الكوكب (وهو يزداد إذا كان السطح مغطى بالجليد أو الثلج عما لو كان مغطى بالحقول أو الغابات)، بجانب القدر الذي تعكسه السحب، كما أنه يعتمد أيضا على التركيب الجزيئي للغلاف الجوي، فوفرة $2CO$ قد تتسبب في الاحتفاظ بالحرارة التي يعكسها الكوكب ليحدث ما يسمى بظاهر «الصوبة». فإذا ما أهملنا هذه التفصيلات فسنجد أن أقل المتطلبات هو: كوكب لا يقل عن حجم معين-حجم لا يختلف كثيرا عن حجم الأرض-يقع على بعد من النجم الأم لا يسمح بان يكون حارا جدا (كعطارد) أو باردا جدا-كنجم له بعد المشتري عن الشمس دون أي مصدر إضافي للطاقة.

هناك أيضا قيد على نوع النجم، إذ تتوقف سرعة استهلاك النجم لوقوده النووي-كثيرا-على كتلته. فالنجم ذو الكتلة الكبرى يستهلك وقوده بسرعة أكبر، وبذا تكون حرارته أعلى ويشع قدرا كبيرا من الطاقة في الفضاء حوله، ولذا فلا بد من أن يقع أي كوكب على سطحه ماء، على بعد من مثل هذا النجم أكبر من بعدنا نحن عن الشمس. وهذا في حد ذاته لا يشكل مشكلة، إنما تكمن المشكلة في قصر الفترة التي يستمر فيها النجم في إطلاق ضوئه وحرارته. فالنجم ذو الكتلة الكبيرة قد لا يحيا أكثر من عشرة ملايين سنة، وهي فترة لا تسمح بتطور الحياة لأي درجة محسوسة،

ولكن الشمس، على خلاف ذلك، قد استمرت تشع وبثبات معقول فترة تزيد على أربعة بلايين سنة، والأرجح أنها سوف تستمر هكذا فترة أخرى مساوية.

أما النجوم ذات الكتلة الأقل كثيرا من الشمس، فلها مشكلة أخرى، ففي مقدورها حقا أن تسطع بثبات فترة أطول كثيرا، بحيث يمكن معها أن نهمل مشكلة الزمن اللازم لتطور الحياة. ولكن مثل هذه النجوم تشع طاقة أقل، بحيث يلزم أن يكون الكوكب الملائم أقرب إليها منا إلى الشمس. وبذا فلن يكون هناك إلا مدى محدود من المسافات، إذا كان لنوع الظروف التي نريدها أن تتهيأ لهذا الكوكب. فإذا ما اقترب الكوكب من النجم قليلا فسيصبح حارا حتى ليغلى الماء فوقه، وإذا ابتعد قليلا تحول الماء على سطحه إلى ثلج. وعلى هذا فإننا نتوقع أن نجد بالفعل بعض النجوم الصغيرة ذات التوابع الملائمة، ولكن عددها لن يكون كبيرا، لأن توفير الظروف المطلوبة سيكون أكثر صعوبة. بل سنجد أن المجال، حتى بالنسبة للنجوم التي في حجم الشمس، قد يكون من الصغر لدرجة يصعب معها أن نجد كوكبا في المكان المضبوط إلا في البعض القليل من النظم الكوكبية العارضة، تماما مثل الوضع القائم في نظامنا الشمسي.

وباختصار، إننا نحتاج إلى نجم ليس كبيرا جدا، حتى لا تكون فترة حياته قصيرة جدا، وليس صغيرا جدا، وإلا غدت فرصة وجود كوكب ملائم صغيرة جدا. ولحسن الحظ، فإن الشمس نجم ذو حجم متوسط. وقد اتضح أن الكثير من النجوم له حجم معقول، وما نحتاج إلى أن نعرفه هو ما إذا كان لمثل هذه النجوم عادة كواكب تدور حولها.

المؤسف أننا لن نجد نظرية يقبلها الجميع عن نشأة النظام الشمسي، بالرغم من كل الشواهد التجريبية التي تجمعت لدينا عن بحوث الفضاء خلال السنوات العشر الأخيرة أو ما يزيد. ظن الكثيرون، في مطلع هذا القرن، أن النظام الشمسي قد تكون عن تيار من المادة جذب من الشمس بسبب اقتراب نجم آخر منها. فإذا كان الأمر كذلك، وهذا بالضرورة حدث نادر جدا، فبالتالي لن نجد النظام الكوكبي إلا لعدد محدود من النجوم. وهناك معالجة نظرية أكثر تفصيلا أوضحت أنه من الصعب أن تقود مثل هذه الواقعة إلى الكواكب كما نعرفها. أما الآراء الأحدث فترتبط بنشأة الشمس نفسها، إذ المعتقد أنها قد تكثفت-بالجاذبية-من سحابة من الغاز

والغبار كانت تدور ببطء، ثم تزايدت سرعة دورانها الذاتي [1] بتناقص قطرها تبعا لمبدأ حفظ العزم الزاوي angular momentum. ونتج عن هذا الدوران الذاتي قرص مسطح من مادة، منها تكونت الكواكب كما يعتقد، بسبب تكثف تال سببته الجاذبية. أما كيف حدث هذا بالضبط، وهل احتاج حدوثه مثلا إلى انفجار سوبرنوفا[2] فهو شئ ليس واضحا تماما. وعلى هذا فليس في إمكاننا أن نقول بثقة تامة-بناء على الأسس النظرية وحدها-ما إذا كانت النظم الكوكبية شيئا شائعا، وإن كنا قد نتوقع أن يكون الأمر هكذا. ولهذا السبب يلزم أن نلقي نظرة على الشواهد التجريبية.

غير أن هذه الشواهد قليلة للغاية. إن الكواكب صغيرة جدا، والضوء الذي تعكسه عن النجم الوالد أضعف من أن نتمكن من مشاهدته بالملاحظة المباشرة، حتى بالنسبة للكواكب التي تدور حول أقرب النجوم إلينا. وللكوكب الكبير تأثير-وإن يكن ضعيفا-على مدار النجم الذي يدور حوله، فكلاهما سيدور حول نقطة واحدة تمثل مركز الجاذبية المشترك بينهما، وقد يكون من الممكن في بعض الحالات المواتية أن نرصد حركة مثل هذا النجم، والحق أنه قد اعتقد مرة برؤية مثل هذا الأثر، غير أننا نعتقد ألان أن ما رصد من ظواهر لم يكن إلا خطا تجريبيا، فالحركة المتوقعة غاية في الصغر.

وهكذا تبدو المشكلة لأول وهلة كأن لا حل لها، فإذا كان الأمر كذلك فلم يعد أمامنا إلا أن نجلس وننتظر ظهور طرق جديدة للرصد أو أخرى محسنة كثيرا. إلا أن هناك ظاهرة واحدة يمكن ملاحظتها بسهولة قد تعطي أملا. إن توزيع العزم الزاوي (نقصد بشكل عام: المقدار الكلي للدوران الذاتي الذي يجب أن يظل ثابتا في النظام المغلق) في النظام الشمسي غريب

---

(1) «الدوران الذاتي» ترجمة للمصطلح Spin، والمقصود به دوران الجسم حول محوره دون انتقال، تمييزا له عن «الدوران» وهو تحرك الجسم في مدار آو مدارات حول مركز للدوران. [المراجع].

(2) «نوفا» (أي «جدبد») وصف يطلق على نجم يزداد تألقه فجأة، وفي أيام قلائل، زيادة هائلة قد تتجاوز عشرة آلاف ضعف قوة أضاءته السابقة، ثم يخبو في بطء نسبي حتى يعود إلى وضعه السابق المغمور في بضعة أشهر أو سنين. أما «سوبرنوفا» (أي «الجديد الفائق») فيشير إلى أحد الانفجارات النادرة لنجوم نوفا قد يبلغ مقدار توهجها وتألقها الذاتي مائة مليون ضعف تألق الشمس. [المراجع]..

بعض الشيء، فقد اتضح أن معظم الدوران الذاتي-كما عرفناه الآن-يظهر في الكواكب، بينما يظهر القليل منه في الشمس. ويبدو من المحتمل أن الشمس البدائية كانت تدور ذاتيا حول محورها بشكل أسرع في بادئ الأمر وحولها سحابة الغبار تدور، بشكل أبطأ. وبسبب آلية ما (وهناك اقتراحات مفصلة عن الطريقة المحتملة لكيفية حدوثها) تحول الدوران الذاتي من الشمس إلى سحابة الغبار فأبطأت الشمس وأسرعت السحابة.

ومن الممكن لحسن الحظ رصد معدل الدوران الذاتي للنجم في الكثير من الحالات عن طريق دراسة الضوء الذي يصدر عنه، ذلك لأن مادة النجم الذي يدور ذاتيا ستتحرك نحونا في حافة بينما تتحرك بعيدا عنا في الحافة الأخرى، وهذه الحركات تغير من ترددات الضوء الذي يصلنا بسبب ظاهرة دوبلر Doppler effect [1]. وقد اتضح تجريبيا أن النجوم ذات الحجم المقارب للشمس تقع عموما في قسمين: قسم يدور حول محوره بسرعة كبيرة-كما تشير طريقة نشأته-والقسم الآخر يدور بشكل أبطأ. ومن المغري دائما أن نقول أن السبب في بطء القسم الثاني من النجوم هو وجود النظم الكوكبية حولها. فإذا كانت هذه الحجة صحيحة فإن وجود الكواكب يصبح أمرا شائعا حقا.

ولكن، يا للأسف، إن هذا هو الدليل الوحيد لدينا على وجود الكواكب. والفرد منا-في العلم-عادة ما يحس بالاطمئنان إذا ما وجد أن طريقين أو أكثر من التفكير يقودان إلى نفس الاستنباط. وليس لدينا هنا إلا طريق واحد. وتدلنا الخبرة على أن مثل هذا الاستنباط يجب أن يؤخذ بتحفظ. ولكن لابد لنا الآن من أن نسلم بأن البرهان المباشر لدوران النجوم برهان مقنع جدا في الحقيقة، وأن الاستنباط القائل بوجود كواكب تدور حول نجوم بطيئة الدوران الذاتي استنباط معقول حقا، ولا يتعارض مع نظرياتنا العريضة عن طريقة نشأة الكواكب. وبذا يمكننا القول إن الأغلب أن تكون الكواكب شائعة لا نادرة جدا.

---

(1) ظاهرة دوبلر» هي اثر اقتراب مصدر باعث للموجات من الشخص الملاحظ أو ابتعاده عنه. فعند الاقتراب تتقارب الموجات فيصل الملاحظ منها عدد أكبر، ومن ثم يبدو كما لو آن تردد الموجات قد ازداد. ويحدث عكس ذلك عند الابتعاد. ومثال على ذلك ارتفاع صوت نفير سيارة الشرطة كلما اقتربت منك، ثم انخفاضه بمجرد نجاوزها إياك مبتعدة عنك. وأول من فسر هذه الظاهرة عالم الفيزياء النمساوي «كريستيان دوبلر» (1803- 1853) [المراجع].

وهناك عامل آخر يلزم فحصه عن النظم الكوكبية المحتملة. فلأنه من السهل أن ترصد الدوران الذاتي للنجم عن طريق دراسة الضوء الذي يصلنا منه، ففي استطاعتنا إذا أن نرصد النجوم المزدوجة (نقصد نجمين متقاربين جدا، يدور كل منهما حول الآخر، ويبقى كل منهما في مداره بسبب التجاذب المتبادل بينهما). ولا يلزم أن يكون للنجمين نفس الحجم أو النوع، بل الحقيقة أنهما كثيرا ما يكونان مختلفين. وقد اتضح أن مثل هذا النظام المركب شائع جدا، حتى أنه يعتبر القاعدة لا الاستثناء. والآن، إن النظام الكوكبي الدائر حول زوج من النجوم يدور كل منهما حول الآخر، نظام-على الأغلب-أقل ثباتا من نظام له نجم واحد في مركزه. فإنه إذا لم يكن النجمان قريبين جدا أحدهما من الآخر (ليصبح أثر جاذبيتهما على الكواكب مقاربا لأثر نجم واحد) فقد يؤثران في مدارات الكواكب، لأن الكوكب سيكون أقرب إلى واحد منهما مرة، ثم أقرب إلى الآخر بعد فترة. وهذا لن يتسبب فقط في أن يتغير-دوريا-القدر من الطاقة الساقط على الكوكب، بل سيتسبب أيضا-وهذا هو الأهم-في خطر تصادم الكواكب بعضها ببعض، وبذا فإن الحالة الثابتة على المدى الزمني الطويل والتي نعتقد بضرورتها لتطور الأشكال العليا من الحياة، هذه الحالة قد لا تحدث بسهولة في مثل هذه النظم الكوكبية. وعلى هذا، فبالرغم من أن الكثير من النجوم المزدوجة قد يكون ذا كواكب، إلا أنه من الصعب تصور إمكان صمود أي نوع من الحياة أمام التصادم الفعلي لكوكبين.

تبقى مشكلة الغلاف الجوي للكوكب، ولقد ناقشناها فعلا في الفصل السادس، ولكنا هنا سنوسع النقاش ليشمل الكواكب خارج النظام الشمسي. لقد رأينا صعوبة أن نحدد في زماننا الحالي هوا صفات الغلاف الجوي الأولي للأرض، وسيغدو الأمر أكثر صعوبة إذا لم نكن نعرف حجم النجم، وحجم الكوكب بالضبط، ثم البعد بين النجم والكوكب. فكوكب الزهرة في نظامنا الشمسي لا يختلف كثيرا عن الأرض، وإن يكن أقرب قليلا من الشمس وأصغر قليلا من الأرض، وبالرغم من ذلك فغلافه الجوي يختلف كثيرا عن غلاف الأرض، فهو أكثر حرارة وأكبر كثافة (يبلغ الضغط الجوي على سطحه أكثر من مائة ضعف الضغط الجوي على الأرض) وهو يتكون أساسا من CO_2. وهذا التركيز العالي من ثاني أكسيد الكربون يتسبب في

ظاهرة «الصوبة»، إذ تحبس الأشعة التي تحاول النفاذ إلى الفضاء لينتج من ذلك-بجانب التدفق الأعلى من طاقة الشمس-رفع درجة الحرارة إلى نحو 720 ْك. وهذه الحرارة العالية هي التي تتسبب في ارتفاع نسبة C O2 في جوه لأنها تبخر بعض الكربونات الموجودة في الصخور. أما على الأرض، وبالرغم من وجود الكربونات بوفرة-كما في سفوح دوفر-فإن درجة الحرارة منخفضة إلى الحد اللازم بالضبط لبقائها في حالة صلبة أو ذائبة في مياه المحيطات. وباختصار، إن اختلافا ضئيلا نسبيا في أوضاع الكوكب قد يتسبب في اختلاف هائل في جوه.

وعلى هذا فليس من المستبعد أن نجد كوكبا له كتلة أكبر من الأرض، يدور على بعد من نجمه، يسمح بوجود الماء السائل على سطحه. فإذا كان الكوكب ضخما بما فيه الكفاية فقد يبقى في جوه الهيدروجين الوفير الموجود في سحابة الغبار (كما هو الحال في كواكبنا الخارجية-المشتري مثلا)، أو على الأقل، قد يفقده بشكل أبطأ كثيرا. والغلاف الجوي الناتج عندئذ-وسيكون مختزلا-قد يكون ملائما لإنتاج حساء جيد «لذيذ» على سطحه. وبذا يجوز على الأقل أن يكون هناك في كوننا أماكن أفضل من نظامنا الشمسي ملاءمة لبدء الحياة.

وبالرغم من أن الأرض تبدو كوكبا ذا حجم معقول يدور حول نجم متوسط الحجم، فإننا لا نستطيع التأكد من أنها لا تحوز ملامح خاصة تجعلها أكثر ملاءمة لبدء الحياة. والأقمار شائعة جدا حول الكواكب في النظام الشمسي، وقد كنا نتوقع أن يكون للأرض كالكواكب الأخرى بضعة أقمار بدلا من هذا القمر الوحيد الذي نراه الآن يلمع من فوقنا. لم يُحَدَّد حتى الآن منشأ القمر، ولكنا نستبعد أن يكون قد قذف به من الأرض. أفتراه نشأ مع نشأة الأرض ؟ أم أن الأرض اقتنصته في تاريخ لاحق بعد أن تكون في مكان آخر من النظام الشمسي ؟ من المحتمل أن يكون قمرنا قد اندمج مع مجموعة أقدم من الأقمار الصغيرة.

أيا كان منشأ القمر فإننا نتوقع أن يكون عند نشأته أكثر قربا من الأرض في تلك الأزمنة السحيقة. والقمر يتسبب في ظاهرة مد البحر. وهذا الاحتكاك لا يتسبب فقط في إبطاء دوران الأرض-وقد كانت لا شك أسرع كثيرا في تلك الأيام-ولكنه أيضا عن طريق فعل عكسي سيدفع القمر بالتدريج

ليدور في مدار أوسع. وعندما كان القمر قريبا من الأرض كان المد بالضرورة أكبر إلى حد يتوقف على الطريقة التي نشأ بها القمر والطريقة التي غير بها مداره. ومن المحتمل أن يكون قد اقتنص في مدار عكسي أخذ يتقلص بالتدريج وتحول إلى اتجاه الدوران الحالي. فإذا كان هذا صحيحا فإن المد لا بد من أنه كان هائلا جدا. ولهذا آثار عديدة جدا، فنحن نعتقد أنه لولا مثل هذه الفيضانات الناتجة عن المد لتكونت قشرة سميكة من الهيدروكربونات فوق كل المياه على وجه الأرض، ولكن الفيضانات تسببت في مزج هذه الهيدروكربونات في مستحلب جعل الظروف أكثر ملاءمة لظهور الخلايا البدائية. وربما تسببت فيضانات المد في ترطيب وتجفيف دائبين على مستوى واسع للبحيرات على شواطئ المحيطات والبحار. مرة أخرى قد تكون هذه ظروفا بدائية للتخليق قبل-الحياتي. عموما يمكننا القول إن مثل هذه الفيضانات الناتجة عن المد ستتسبب في تحريك الأمور وتتسبب في تباين أكبر على سطح الأرض البدائية.

ثمة أثر لطيف آخر ربما نتج عن انجراف القارات، فلولا تكتونية الصفائح-أي حركة الصفائح المختلفة فوق سطح الأرض-لما نشأت الجبال، ولتسببت التَّجْوِيَة المستمرة في تعرية سطح الأرض وجرف حطامه إلى البحر كما تفعل الأنهار الآن، حتى ننتهي بالأرض كلها ترقد تحت المحيطات. غير أن هذا لا يمنع تماما بزوغ الحياة، ولكنه إذا حدث مبكرا فسيجعل نشأة الحياة أكثر صعوبة، أما إذا حدث متأخرا فستتطور الكائنات العليا بشكل مختلف تماما. وسيصعب علينا تخيل ظهور العلم الحديث دون وجود أرض جافة على الإطلاق، ولو أنه من التهور أن نقول إنه لم يكن ليظهر.

ربما كان السبب في تكون الجبال هو أن باطن الأرض سائل إلى حد كبير، وأن الصخور غير البعيدة عن سطحها مرنة إلى حد يسمح بأن تستسلم للضغوط بمعدل واضح. وهذه الظروف نتجت عن السخونة الشديدة لباطن الأرض (والتقدير التقريبي لحرارة باطن الأرض يقول إنها تصل إلى حرارة سطح الشمس). وقد ترجع هذه الحرارة-بجانب عوامل أخرى-إلى النشاط الإشعاعي في الصخور، ولاسيما نشاط النظائر المشعة لليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم. إن النسبة المئوية للذرات النشيطة إشعاعيا في الصخور ليست مرتفعة على الإطلاق، ولكن الأرض تحوى قدرا هائلا من

المادة بحيث تصبح كميتها معقولة. كما أن هذا التحلل الإشعاعي ينتج قدرا كبيرا نسبيا من الطاقة. وهذه الحرارة، مضافة إلى الحرارة الباقية منذ تجمعت الأرض، تحفظ بسبب السمك الهائل لقشرة الأرض وانخفاض درجة توصيلها للحرارة بحيث يمكن بهذه الذخيرة الداخلية البسيطة من الحرارة أن يحتفظ بدرجة حرارة عالية جدا لأن العزل جيد جدا.

عارفين بهذه التعقيدات، دعنا نتوقف الآن ونحاول أن نحسب تقديرا فجا لعدد ما في مجرتنا من كواكب تحوى على سطحها محلولا مائيا من المركبات العضوية، نقصد الحساء الرقيق الذي نتخيل أن الحياة تبزغ منه. إن عدد النجوم من كل الأنواع في مجرتنا يقدر بنحو 10^{11} (مائة بليون نجم)، منها نسبة لها الحجم المناسب، ومن هذه نسبة صغيرة فقط ليست نجوما مزدوجة. ربما توقعنا أن ما يفي بهذين الشرطين نجم واحد فقط من بين مائة نجم. هناك إذا 10^{9} نجما محتملا. فإذا افترضنا أن عشر هذا العدد فقط له نظم كوكبية من الشكل المطلوب، فسيكون لدينا 10^{8} نجما منها. وسيصعب الآن أن نقدر أي نسبة من هذه النجوم كان لها كواكب من الحجم المناسب على البعد المناسب من نجومها، ولكن ربما كانت النسبة واحدا في المائة-وهذا تقدير محافظ-. لدينا إذا مليون كوكب في مجرتنا نأمل أن نجد على أسطحها محيطات من الحساء العضوي الرقيق ينتظر أن تدب فيه الحياة.

يمكننا أن نرى فورا من الطريقة الفجة التي حسبنا بها هذه التقديرات أن هناك مجالا واسعا للجدل حول أرجح قيمة لكل منها. قد يكون تقديرنا للمليون كوكب منخفضا بعض الشيء، ولكن المهم أنه يصعب علينا أن نتخيله مبالغا فيه بمعامل يجعل من المستحيل وجود كوكب آخر مشابه للأرض في أي مكان بالمجرة. إن هذا يتطلب أن يكون تقديرنا مليون ضعف للحقيقة. وصحيح أيضا أننا قد نكون مخطئين تماما بالنسبة للنظم الكوكبية، فالمفروض أن تكون نادرة للغاية-وهذا سيعني وجود تفسير آخر للدوران الذاتي البطيء للنجوم المشابهة للشمس. وقد نكون قد أغفلنا بعض الظروف الخفية اللطيفة، بحيث تكون الأرض بالرغم من شيوع النظم الكوكبية مجرد استثناء، يندر تكراره، إن تكرر على الإطلاق. ولن نتمكن في غياب الأدلة التجريبية من أن نتأكد إذا ما كانت تخميناتنا الفجة تتضمن أي أخطاء.

والخطأ الصغير لا يهم. فحتى إذا كان تقديرنا أعلى مائة مرة، فسيتبقى لنا عشرة آلاف كوكب ملائم في مجرتنا.

أما في الوقت الحالي فهناك استنباط وحيد معقول، وإن يكن هشا: الراجح هو أن الكواكب ذات الحساء الملائم شائعة إلى حد معقول في مجرتنا. وهذا لا يعني أنها ستكون قريبة من بعضها البعض، فحتى إذا وجد منها مليون كوكب فإن متوسط المسافة بينها سيبلغ بضع مئات السنين الضوئية، فإذا كان الموجود منها عشرة آلاف فقط فالمسافة بينها في المتوسط ستكون عشرة أضعاف هذا التقدير. والواقع أن تقديراتنا المحافظة قد تكون أصغر كثيرا من الحقيقة، ليقاس البعد بينها بعشر فقط من السنين الضوئية، ولو أن مثل هذه المسافات القصيرة جدا تبدو-على الأغلب-غير محتملة. وحتى لو كانت صحيحة فإن الأمر سيتطلب ألف سنة ليقطعها صاروخ ينطلق بسرعة تبلغ ١/ 100 من سرعة الضوء.

٩ الحضارات العليا

يبدو إذا أنه لأمر أكثر من محتمل وجود كواكب في مجرتنا، على أسطحها كميات كبيرة من محلول مائي من الجزيئات العضوية من النوع اللازم لصنع اللبنات التي بها تبنى الكائنات الحية. ولقد رأينا في الفصل السادس أننا لا نستطيع في وقتنا الحالي أن نكون فكرة واضحة عما إذا كان مثل هذا الحساء يؤدي إلى نظام حي بدائي في فترة زمنية معقولة-قل مثلا بليون سنة-أم أنه قد قدر لمعظم هذه الأحسية أن تبقى بلا حياة إلى مالا نهاية لأن نشأة الحياة واقعة نادرة جدا. وفي هذا الفصل سنناقش مشكلة أخرى.

فإذا سلمنا بأن نظاما بسيطا ناسخا استطاع أن ينشأ، فما هو احتمال أن يتطور إلى مرحلة مشابهة لتطورنا؟

إذا نظرنا إلى ما نعرفه عن مراحل التطور على الأرض فسنجد شيئا غريبا، إذ يبدو أن الكائنات البسيطة قد احتاجت إلى وقت أطول كي تتطور. فأقدم آثار الحياة التي أمكن العثور عليها وجدت في صخور يبلغ عمرها نحو 3,6 بليون سنة. والأغلب أن الكائنات عديدة الخلايا قد ظهرت منذ نحو 1,4 بليون سنة. أما السجلات الحفرية التي نتجت عن حيوانات بسيطة حفظت أجزاؤها

الصلبة، فيبلغ عمرها 0,6 بليون سنة فقط، ولقد بينت هذه الوقائع في الرسم الموجود في أول هذا الكتاب.

وربما تشير الأبحاث في المستقبل إلى وجود كائنات وحيدة الخلية أقدم من 3,6 بليون سنة، وعلى هذا فإن الزمن المتاح للتطور قبل-الخلوي-الذي نعتبره أصعب الخطوات-لن يزيد على بليون عام، إن لم يكن حقا أقصر من ذلك. وفي مقابل هذا نجد أن الزمن اللازم كي تخطو الكائنات وحيدة الخلية الخطوة الحاسمة التالية يبلغ نحو بليونين من السنين، وربما أكثر بقليل. ثم تسارعت خطى التطور بعد ذلك على ما يبدو، إذ يبلغ عمر أول الثدييات 200 مليون سنة فقط، كما أنها لم تتشعب لتنتج الأنماط الموجودة الآن إلا منذ نحو 60 مليون سنة.

والمؤكد أن نشأة الكائنات مميزة النوى كانت إحدى الخطوات الحاسمة، وخلايا هذه الكائنات لها نوى حقيقية يحدث بها الانقسام الميتوسي (الفتيلي) وتحتوي في السيتوبلازم على الميتوكوندريا التي توجه استخدام الطاقة. وتحتاج النباتات إلى البلاستيدات الخضراء لتوجيه التمثيل الضوئي، وعندي إحساس بأن مثل هذا التطوير ربما كان أساسيا لتطور الحيوانات والنباتات العليا. والمؤكد أن الكائنات التي لم تتخذ هذا السبيل-كالبكتريا والطحالب الخضراء المزرقة-قد بقيت بسيطة نسبيا، وإن كانت متلائمة تماما مع بيئتها.

ومدى احتمال حدوث هذه الخطوة ليس واضحا على الإطلاق. وهناك اعتقاد راسخ بأن الميتوكوندريا الموجودة في خلايانا قد انحدرت من شكل حي قديم، يعتبر حياة حرة، غزا خلية غريبة عنه وتدرب على أن يحيا معها في تكافل. وربما حدث بدء التقدم الحاسم، عندما اكتسبت الخلية الحركة ومعها القدرة على البلعَمَة-نقصد ابتلاع جزيئات الطعام أو حتى ابتلاع كائنات كاملة-. على كل حال، يبدو أن الآمر قد تطلب وقت طويلا لحدوث هذه الخطوة، مما يشير إلى أنها كانت واقعة نادرة جدا. فلو أن احتمال حدوثها كان-لسبب أو لآخر-نصف قيمته الحقيقية فربما لم يكن ليحدث على الإطلاق، حتى في هذا الزمن المتأخر من تاريخ الأرض، ولبقيت الأرض تملؤها البكتيريا والطحالب، وربما القليل غيرها.

لا يمكننا استخدام مثل هذا الجدل في كل خطوة نعرفها من خطوات التصور. فإذا ما ظهرت الحيوانات البدائية ذات العضلات والأعصاب فلنا

أن نثق في حدوث تطوير لجهاز بصري عند وجود آلية جزيئية جيدة للتطور السريع، ذلك أن القدرة على الرؤية تمنح الحيوان ميزة تطورية فائقة. والشيء المهم هنا هو أن مثل هذا التطور قد حدث ثلاث مرات منفصلة: في الحشرات، وفي الرخويات (كالحبار والأخطبوط) وفي الفقاريات (الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور والثدييات). وكل ما يحدث بضع مرات مستقلة في التطور، لا يمكن اعتباره واقعة نادرة. أما الخطوات التي تحدث مرة واحدة-لاسيما تلك التي احتاجت إلى زمن طويل-فهي تلك التي نصفها بأنها صدفة طيبة، ولا يمكن بالتالي أن نعتمد على حدوث صدفة مشابهة لها في أي مكان آخر.

ومن الصعب أن نعرف بالضبط عدد ما كان من هذا القبيل، لكن هناك مثال آخر يمكن عرضه يتعلق بانقراض الدينصورات. فمنذ نحو 60 مليون سنة، لا سيما على اليابسة، انقرضت ومعها عدد آخر من الأنواع الحيوانية والنباتية. وعندما لاحظ الفيزيائيان ألفاريز و ألفاريز (الأب والابن) وجود طبقة رقيقة من الطين ترسبت تقريبا في نفس الوقت مع انقراض هذه الحيوانات قاما بتحليلها، فوجدا أن لها تركيبا فيزيائيا مميزا يحتوي على كمية غير عادية من الفاناديوم. ثم فحصا ثلاثة مواقع تبعد كثيرا عن بعضها بعض، فوجدا فيها جميعا هذه الطبقة الطينية، الشيء الذي يشير إلى أنها نتجت عن واقعة حدثت على اتساع العالم. وكان التركيب الأيزوتوبي يتطلب مصدرا من خارج الأرض لتعليل وجود بعض المواد. وقد اقترحا أن كويكبا، قطره نحو ستة أميال، اصطدم بالأرض، فأحدث فجوة هائلة ونثر في الغلاف الجوي كميات ضخمة من المادة انتشرت بالرياح فوق الأرض كلها، وحجبت ضوء الشمس لبضع سنين إلى أن سقطت في النهاية أدق جزيئات الغبار (لإنزال نذكر أنه بعد الانفجار الذي حدث في كراكاتوا ظل غروب الشمس في العالم كله يبدو عجيبا لسنوات عديدة بسبب الغبار المعلق في الجو). وبسبب الاختفاء الفعلي لضوء الشمس مات بالتأكيد الكثير من النباتات، لاسيما العوالق النباتية المغمورة في مياه المحيط. كما لابد من أن انقرضت أنواع كثيرة، ولو أن النباتات ذات البذور طويلة العمر كان لها أن تنبت مرة أخرى عندما عاد ضوء الشمس في النهاية. ونتيجة هذا التناقص الهائل في المادة النباتية تفككت سلسلة الطعام تماما. وكان

هذا مميتا لاسيما بالنسبة للحيوانات الكبرى، التي تعلو سلسلة الطعام، وبذا انقرضت كل الدينصورات، ربما فيما عدا بعض صغير منها-أسلاف الطيور-. وقد ظهر أقدم الثدييات منذ نحو 200 مليون عام، وعند وقوع هذه الكارثة لم تكن الثدييات قد حققت نجاحا كبيرا، ربما بسبب سيادة الدينصورات. وكان معظم هذه الثدييات القديمة آكلات حشرات ليلية صغيرة، وبذا استطاعت أن تحيا خلال سني الظلام. وعندما عاد الضوء أخيرا تطورت الثدييات بسرعة لتشغل كل المواطن الإيكولوجية التي خلفتها الدينصورات المنقرضة (مثلما تشعبت العصافير التي رصدها داروين في جزائر الجالاباجوز) وشكلت بسرعة الأنواع العديدة التي نرى أحفادها ألان من حولنا. وفرع منها-هو الرئيسات-طوّر مقدرة بصرية جيدة على تمييز الألوان وقشرة مخ كبيرة، لينتج منه-في النهاية-الإنسان.

إن السؤال الأساسي هو: لو أن الدينصورات تركت دون إقلاق، فهل كانت ستتطور إلى حيوان له من الذكاء ما يؤهله لابتكار العلم والتكنولوجيا؟ نحن لا نستطيع الإجابة عن هذا السؤال بأي قدر من اليقين. ولكن هناك شك غير صريح بأن الدينوصورات كانت قد تخصصت في الاتجاه الخطأ. وإذا كان هذا صحيحا فإن تطور الذكاء الأعلى الذي حدث على الأرض يرتكز على هذه الواقعة العنيفة التي منحها الكويكب للتطور. وقد لا يكون مثل هذا الارتطام مجرد حادثة فريدة، فهناك حالات انقراض أخرى معروفة في السجل الحفري. الحق أننا نتوقع أن يصطدم كويكب كبير بالأرض بمعدل يبلغ، في المتوسط، واحدا كل 200 مليون سنة. ولو أننا لا نعرف إن كانت حالات الانقراض هي نتيجة مثل هذا الاصطدام.

من المحتمل أن ينتج التطور دائما، مع مضي الزمن، كائنا له درجة عالية من الذكاء، فالذكاء يفيد في الصراع من أجل البقاء. ولكن الأمر قد يحتاج تغييرات في البيئة جد كبيرة إذا كان لكبرى خطوات التطور أن تثمر. وإذا كان ذلك كذلك، فإنه يفرض شرطا آخر على النظم الكوكبية التي يحتمل أن تطور صورا عليا من الحياة خلال زمن معقول.

15 متى بدأت الحياة

كان اهتمامنا حتى الآن منصبا على المكان من الكون الذي يحتمل أن تكون الحياة قد ظهرت فيه، وكيف كانت الحياة واقعة نادرة، ولم نتطرق في الحديث-إطلاقا-إلى الزمن المحتمل لبداية الحياة، ولا إلى الزمن الذي استغرقه التقدم من البدايات الأولى إلى حضارة عليا قادرة على أن ترسل صواريخ إلى نظم كوكبية أخرى. ونحن لا نستطيع-على وجه الدقة-أن نضع تقديرا عن الزمن اللازم للتطور أفضل من تصديرنا لاحتمال حدوث أي خطوة محددة منه، كما أننا لا نحب أن نتصور أنه كان من الممكن أن تتم عملية التطور بشكل أسرع كثيرا مما حدثت به فعلا على الأرض. وليس لدينا نظرية مفصلة عن التطور، نظرية محددة كميا بحيث يمكننا أن نحسب بالضبط طول الفترة التي قد تتطلبها أي مرحلة منه. وطبيعي أن طول مثل هذه الفترة يتوقف على عوامل مثل معدل الطفور، وعمر الجيل، وعدد أفراد العشيرة المتزاوجة، ثم، وفوق كل هذا، قوى الانتخاب التي تسببها البيئة عامة والأنواع الأخرى من الكائنات خاصة. فثبات البيئة وكبر حجم العشيرة التي تتزامن وطول عمر الأجيال، هي عوامل من شأنها أن تجعل التغيرات

أبطأ. أما آلية العزل-جغرافية كانت أو بيولوجية-، والتي تؤدي إلى عشائر صغيرة، فقد تنتج أنواعا جديدة بشكل أسرع. فإذا ما وجد أحد الأنواع فرصا أكثر ومنافسين أقل-كما يحدث عند غزو أراض جديدة-فالأغلب أن ينتشر بسرعة ليعمر البيئة الجديدة التي أتيحت له. وفي كل هذه الحالات يصعب علينا أن نتنبأ بسرعة عملية التطور إلا في شكل تقريبي حذر. فالتطور، بالمعنى الأعمق، عملية لا يمكن-بالضرورة-التنبؤ بمسلكها، فإذا ما كانت هناك خصيصة معينة تعطى تميزا ساحقا (كالقدرة على الرؤية مثلا) فلنا أن نتأكد أنها ستظهر بطريق أو بآخر. وحتى في هذه الحالة يصبح من التهور أن نتنبأ بالتحديد بنوع النظام البصري الذي سيحدث. وقصارى ما يمكننا أن نقوله عن الجهاز العصبي للحيوانات العليا هو أنه سيتغير في الأغلب بحيث تستطيع الحيوانات أن تحس وتستجيب، ليس فقط للإشارات الواضحة التي تقع على أعضاء الحس، وإنما أيضا لصور تلك الإشارات التي تقابل نواحي معينة من العالم الواقعي، لاسيما تلك النواحي التي ستؤثر على بقاء الحيوان وتناسله-رائحة المفترس وظهور الأنثى وأمثالهما. أما الفترة التي تلزم كي يطور مخ الحيوان وظيفة معقدة معينة فهي أمر يكاد يكون من المستحيل أن يجاب عنه بالتحديد.

أما أسهل ما يمكن أن نحاول الإجابة عنه من أسئلة فهو: إذا ابتدأت الحياة مرة أخرى من جديد فإنما بتغييرات طفيفة في البيئة بحيث لا يتكرر ما حدث نفسه تماما. فكم من الوقت يحتاج إليه ظهور كائن كالإنسان ؟ نحن نعرف أن هذه العملية قد استغرقت أصلا نحو أربعة بلايين سنة، ويمكننا أن نتصور أن تحدث مرة أخرى في فترة تبلغ بليون سنة فقط، ومن السذاجة تصور زمن أقل من ذلك. غير أن الأمر قد يتطلب مدة أطول كثيرا إذا لم تحدث صدفة طيبة أو صدفتان. ويبدو أنه يكاد يكون مستحيلا أن نحسم الموضوع، وستصبح المشكلة بالطبع أكثر تعقيدا إذا كنا نتكلم عن الحياة على كوكب آخر.

وعلى هذا، فإنه يتعين علي أن أكسر القواعد التي تفرضها نظرية الاحتمال وأفترض أن الحياة إذا ابتدأت في مكان آخر فإنها ستتطور بنفس السرعة التي حدثت بها هنا على الأرض، أعني أنها ستستغرق أيضا أربعة بلايين سنة للتحول من الحساء إلى الإنسان. ولعل فيما سبق ما يوضح أن

مثل هذا الفرض مزعزع حقا، إلا إذا بينا أن لكل من الخطوات الرئيسة في التطور احتمالا عاليا نسبيا. فإذا كان هذا صحيحا فإن ما تسببه الصدفة من تعطيل ومن إسراع سيلغي بعضه بعضا بحيث يصبح المعدل العام مقاربا لما حدث هنا. بل إن هذا يفترض بالطبع أن العوامل العامة، كالحرارة وتعدد البيئات المتاحة، ليست مختلفة بحيث يكون مسار التطور كله-برغم تشابهه عموما مع قرينه على الأرض-أسرع أو أبطأ، بدرجة محسوسة. إن كل ما نستطيع قوله هو أن الرقم: 4 بلايين سنة، الذي نفترضه، ليس رقما خياليا، برغم افتقاره إلى التعضيد الحاسم.

فإذا تسلحنا بهذا الرقم غير المؤكد فمن الممكن أن نبتدئ في فحص الزمن الذي يلزم لظهور الحياة. ثمة مطلبان أساسيان: إننا نحتاج إلى كوكب ملائم، كما نحتاج إلى وجود عناصر معينة على سطح الكوكب أو قريبا من سطحه. والواضح أننا لا نستطيع أن نوفر هذين المطلبين مباشرة عقب الانفجار الهائل كما بينا في الفصل الثاني. وهناك براهين جيدة تقول إن الكثير من ذرات أجسادنا لم تتكون خلال اللحظات الأولى من بدء اتساع الكون، وإنما خلقت في بعض النجوم الأولى. وقد استهلكت هذه النجوم الكبيرة وقودها الذري بسرعة، ثم انهارت ثم انفجرت وانتثر حطامها في الفضاء حولها، ليتكاثف في نهاية الأمر ويكوّن نجوما ونظما كوكبية جديدة. صحيح أننا لا نستطيع أن نتأكد من الزمن الذي تطلبه حدوث هذا، إلا أن التقدير المناسب قد يكون بليون سنة أو بليونين.

ونحتاج للاستطراد أن نعرف عمر الكون، الزمن منذ حدوث الانفجار العظيم. ولكن هذا لا يزال بكل أسف، مجالا للاختلاف. فأعلى التقديرات يصل إلى20 بليون سنة، وأدناها يصل إلى سبعة بلايين، ولو أن قلة فقط هم من يثقون بالتقدير الأدق. وعندما كتبت مع ليسلي أو رجل بحثنا، بدا لنا أن أفضل التخمينات هو نحو 13 بليون سنة. أما الآن فقد يكون الرقم الأفضل هو عشرة بلايين سنة.

والرقم المضبوط ليس ضروريا لأغراضنا هنا، مادام ليس صغيرا جدا. ولكي نكون في الناحية الأسلم، دعنا نأخذ الرقم على أنه عشرة بلايين سنة. فإذا سمحنا ببليون سنة لتطور الكواكب والمواد الكيماوية، تبقى تسعة بلايين سنة. وسيتضح لنا فورا أن هذا الرقم يبلغ نحو ضعف عمر الأرض.

هناك إذا من الزمن ما يكفي فيما تتطور الحياة، ليس مرة واحدة فقط، بل مرتان متتاليتان. اختصارا، إن الزمن المتاح يسمح للحياة أن تبدأ على كوكب آخر بعيد نشأ منذ تسعة بلايين عام، ويسمح لمخلوقات مثلنا أن تتطور بعد ذلك بأربعة بلايين سنة أو أكثر وأن تتمكن من أن ترسل شكلا من أشكال الحياة البسيطة إلى أرضنا التي ستكون عندئذ قد بردت إلى الحد الذي تنشأ فيه المحيطات البدائية. إن حدوث هذا الذي وصفناه لا يزال في الحقيقة أمرا يتوقف على وجهة النظر، ولكن البراهين التي بين أيدينا تجعل من الصعب المجادلة بأن الزمن الكلي المتاح كان بالفعل قصيرا جدا. إذا فقد كان هناك ما يكفي من الزمن لتتطور الحياة، ليس مرة واحدة بل مرتان.

11 ماذا قد يرسلون ؟

علينا من الآن فصاعدا أن نترك خلفنا الاعتبارات الكمية، مهما كانت تقريبية. وأن نسمح لخيالنا بأن ينطلق في حرية. سنفترض أنه منذ أربعة بلايين عام تطور على ظهر كوكب بعيد شكل من أشكال الكائنات العليا، استطاع مثلنا أن يكتشف العلم والتكنولوجيا، وأن يطورها إلى مدى أبعد كثيرا مما أنجزناه نحن. فقد كان أمامهم زمن أطول. ومن الصعب أن نتخيل مجتمع هذه الكائنات الراقية وقد توقف بالضبط عند نفس المرحلة التي بلغناها نحن الآن، وليس يسيرا بالطبع أن نخمن المدى الذي بلغوه، ولو أننا نتوقع أن بعضا من علمهم لن يكون مختلفا عن علمنا. إن معرفتنا ببعض مجالات الفيزياء والكيمياء قد وصلت إلى درجة الكمال وغدت تقف على قاعدة صلبة، وأصبحت ملامحها الرئيسة معروفة بالفعل لنا. يصعب أن نقول بصحة هذا بالنسبة لكل مجالات هذين العلمين، ففيزياء الطاقة الفائقة على سبيل المثال مازالت تخبئ الكثير من المفاجآت، ولنا أن نتوقع ظهور طرق حديثة في الكيمياء الفيزيائية تزيد من دقة معرفتنا بالبنيان الكيميائي والتفاعلات الكيميائية. وحتى إذا لم تعد هناك قواعد جديدة للاكتشاف (ولو أن هذا

مستبعد) فهناك عمل لأجيال وأجيال من العلماء يكتشفون به بالتفصيل كيف تتفاعل الذرات والجزيئات في الكثير من المخاليط وفي الكثير من ظروف الضغط والحرارة.

فإذا تحولنا إلى علم الفلك والفيزياء الفلكية وعلم الكونيات، فسنجد الكثير ينتظر البحث. ولقد لمسنا بالفعل بعضا من هذه المشاكل-مثلا عدد النجوم التي تدور من حولها كواكب-ولا يزال هناك الكثير من المسائل بلا جواب، مثل مسألة ما إذا كان الكون مفتوحا أم مغلقا (نقصد ما إذا كان به ما يكفي من الكتلة لينقلب على نفسه أم أنه سيظل يتسع إلى الأبد). أما معرفتنا بالبيولوجيا فهي أكثر بدائية، فكل ما لدينا من تفاصيل علم الأجنة-مثلا-ليس إلا أفكارا تخطيطية. كما أن صورة أسلوب التطور وآليته-كما رأينا-لا تزال مجرد تخطيط عام، أما منشأ الحياة فصورته أقل وضوحا.

لنا أن نثق بأنه لو استمرت حضارتنا مدة ألف عام قادم فسيحل الكثير من هذه القضايا. غير أننا حتى لو تمكنا من وضع القواعد الأساسية من كل هذه العلوم، فسيتبقى الكثير. إننا نتوقع خلال الآلاف العشرة القادمة من الأعوام أن يحل الكثير من النظم المعقدة إلى تفاصيله الدقيقة. وفوق هذا كله، فالأغلب أن تشهد ازدهارا هائلا لمشاريع هندسية تطبق المعرفة الأساسية-التي ستكون عندئذ معروفة-على نظم متزايدة القوة والدقة والتعقيد. وما لم يحطم الإنسان نفسه أو يفسد بيئته، وما لم يسيطر عليه متطرفون مسعورون يكرهون العلم، فلنا أن نتوقع أن نرى جهودا ضخمة لتحسين طبيعة الإنسان نفسه. أما الشكل الذي قد تتخذه هذه الجهود، ومدى نجاحها، والزمن الذي تحتاج إليه لتغيير طبيعة الإنسان تغييرا جذريا، فيصعب أن نتخيله ونحن ننظر من خلال ضباب الشك الذي يغلف المستقبل البعيد.

إننا نتوقع-مقارنة-أن يكون هؤلاء التكنوقراطيون الأقدمون قد عرفوا-على الأغلب-أكثر جدا مما نعرف نحن الآن، لاسيما في الفلك وعلوم الحياة، وأن يكونوا قد طوروا التكنولوجيا أبعد منا كثيرا. كيف سيبدو الكون لهم ؟

إن الغريب حقا ألا يكونوا قد سبروا أسرار بيئتهم (ونحن أبعد ما نكون عن ذلك)، وعرفوا آلية تطورهم والتشغيل المفصل ببيئتهم المادية المباشرة. وبينما لا نملك نحن إلا أن نخمن أي النجوم لها كواكب، فالأغلب أنهم قد عرفوا ذلك، وإن كان من الصعب تقدير حجم المعلومات التي عرفوها عن

أحوال هذه العوالم الأخرى. وفي وجود التكنولوجيا العالية والزمن الكافي فإننا نتوقع أن يرسلوا سفن فضاء غير مأهولة، على الأقل إلى بضعة نجوم قريبة، لتصلهم بعد مرور بضع مئات من السنين رسائل تنقل لهم شيئا عن الأحوال هناك. فحتى إتمام هذا وحده محتاج إلى تكنولوجيا أكثر تطورا بمراحل مما لدينا الآن.

دعنا نفترض أنهم اكتشفوا وجود أماكن كثيرة بالمجرة تلائم الحياة، عليها اليابسة وعليها المحيطات، يصلها زاد ثابت من الطاقة الإشعاعية من النجم الوالد، حولها غلاف جوي ملائم، وعلى سطحها-إذا كميات كبيرة من الحساء المخفف. أما ما لا نستطيع أن نخمنه بهذه السهولة فهو ما إذا كان في مقدورهم أن يكتشفوا عدد الأماكن التي تحوى بعض الأشكال البدائية للحياة. ربما اكتشفوا أن الحياة حقا واقعة نادرة. وحتى إذا كان العكس هو الصحيح، فمن المحتمل أن يستنبطوا خطأ أنهم بالفعل متفردون، وأنه لا يوجد أي أثر للحياة في مجرتهم. ويمكننا أن نتخيلهم، دون أن نلوى الحقائق كثيرا، وقد نظروا حول ركنهم الصغير في الكون الممتد في كل الاتجاهات لعشرات الآلاف من السنين الضوئية، عندئذ ربما توصلوا إلى أنه بالرغم من شيوع الحساء في الكون فإن الحياة نادرة للغاية. وأنه بالرغم من أن الكثير من المواقع فيه يمكن أن يقيم الحياة، لم تحدث الخطوة الأساسية لظهور الحياة-نقصد النشوء التلقائي للآلية الكيميائية اللازمة للانتخاب الطبيعي-. وسنسأل حتما: لو كان الكون قد بدا لهم حقا هكذا، فماذا كانوا سيفعلون ؟

يلزمنا فحص عامل آخر كي نحدد ورطتهم بشكل أدق. إنهم سيعرفون أن حضارتهم على المدى الطويل-أو الطويل جدا-لا بد زائلة. وقد يكون لديهم من الأسباب ما يجعلهم يعتقدون أنهم قد لا يستطيعون البقاء حتى على المدى القصير. ربما اكتشفوا أن نجما قريبا سيصطدم بنجمهم-وهو أمر غير محتمل في معظم أجزاء المجرة وإن كان محتملا جدا قرب مركز المجرة. ربما كان لديهم من الأسباب ما يجعلهم يرتابون في أن نظامهم الاجتماعي لا يمكن أن يظل ثابتا إلى مالا نهاية كما قد يكون نظامنا نحن الآن. لكنهم لابد من أنهم قد عرفوا أنه على المدى الطويل جدا-نعني خلال بضعة بلايين من السنين-سينفد الوقود النووي من نجمهم ليتحول في

الأغلب إلى عملاق أحمر يبتلع كوكبهم ويفنون لا محالة. إنهم بلا شك سيخططون لاستعمار الكواكب القريبة، وربما ظهر أن هذا أمر بالغ الصعوبة من الناحية التكنولوجية، لاسيما إذا كانوا سيئي الحظ وكان أقرب الكواكب الملائمة يبعد عنهم بضع عشرات من السنين الضوئية.

وحتى لو حاولوا استعمار الكواكب القريبة فسيكتشفون أن فرص نجاحهم ضئيلة، وأن عليهم أن يضعوا خططا للطوارئ لمواجهة هذا الفشل الذي قد يتكرر. أيا كانت أسبابهم، فإننا نتوقع أن يفحصوا بتمعن بدائل أخرى.

ما هي الخيارات المفتوحة أمامهم ؟ إن أبسط الخيارات هي أن يرسلوا إلى الفضاء مسابير غير مأهولة. غير أنه من الصعب أن يجعلوا هذه المسابير تتناسخ، بالرغم مما يراه كتاب الخيال العلمي. ولا تكمن الصعوبة فقط في بناء ماكينة تتوفر مادتها الخام بسهولة، وإنما سنجد أيضا أنه يكاد يكون من المستحيل أن تعمل ماكينات كهذه بكفاءة دون مساعدة من القاعدة التي تنطلق منها، لاسيما بعد الرحلة الطويلة في الفضاء، ثم بعد آثار الصدمة التي ستحدث عندما ترسو على كوكب بعيد. لابد إذا من أن توجد آليات معقدة للإصلاح الذاتي، وهذه-هي الأخرى-ستصبح عرضة للإخفاق. أما الظرف الوحيد الملائم المتوافر فهو عدم وجود منافسة على الإطلاق، فلن تكون هناك حشرة تفسد ولا لص يسرق، وسيكون المطلوب فقط هو التعامل مع التلف الناشئ عن الصدأ البطيء وغيره من التآكلات الكيميائية والميكانيكية.

تبقى إمكانية إرسال بعض الكائنات الحية الموجودة على كوكبهم. صحيح أنها ستكون بالضرورة في مرتبة أدق على سلم التطور، إلا أنهم سيأملون أن تتمكن من البقاء والتكاثر، وإذا ما صادفها الحظ الطيب فإنها ستتطور في نهاية الأمر إلى شكل أعلى من أشكال الحياة. وإذا كان من الصعب إرسال مخلوقات شبيهة بالإنسان في هذه الرحلة المروعة، فلماذا لا يحاولون إرسال الفئران ؟

ولكن مزايا استخدام الفئران-بكل أسف-هزيلة للغاية. صحيح أن الفأر يشغل حيزا أقل من الإنسان، إلا أنه يفتقر إلى القدرة على السيطرة على البيئة. والإبقاء على هذه الحيوانات-حتى كمستعمرة تتكاثر-على مدى المئات من السنين داخل سفينة الفضاء، يشكل مصاعب بالغة حقا، حتى عند

التمكن من بعض الأساليب العبقرية في إعادة دورة استخدام المواد في مركب الفضاء. والبيئة التي ستهبط عليها الكائنات عند وصولها ستكون على الأغلب غير مناسبة، فالمتوقع تحديدا أن تكون خالية من الأكسيجين، وهذا معوق قاتل على المدى الطويل. الواضح إذا أننا نحتاج إلى كائن يمكن أن يرسل بأعداد كبيرة جدا، كائن يستطيع أن يحيا جيدا خلال رحلته الطويلة في الفضاء، كائن لديه القدرة على تحمل صدمة الوصول إلى سطح الكوكب، ثم تحمل ظروف البيئة التي قد يقابلها هناك. إن عرض الموضوع بهذه الطريقة يجعلنا نقول إن الكائنات الدقيقة-كالبكتيريا التي نعرفها-ستكون هي أنسب الاختيارات للكائن المستعمر الذي سيرسل ليؤسس الحياة في مكان بعيد.

ما هي خصائص البكتيريا؟ إن أفضل تصنيف للكائنات الحية ليس تقسيمها إلى عالم الحيوان وعالم النبات كما قد نحب أن نفعل، وليس تقسيمها إلى كائنات وحيدة الخلية وأخرى عديدة الخلايا (كالإنسان). إن التقسيم الأكثر معنوية هو تصنيفها إلى كائنات لخلاياها نوى-كالإنسان-وتسمى «حقيقية النوى»، وكائنات أكثر تواضعا ليس لخلاياها نوى، وتسمى «بدائية النوى». أما مصطلح «الكائنات العليا» كما يستعمله البيولوجيون فقد يكون مضللا جدا.

من المؤكد أننا كائنات عليا، وبذا فأنا-على وجه العموم-من نوع الحيوانات التي تعرض بحدائق الحيوان. أما بالنسبة للبيولوجي فإن خلية الخميرة-كتلك التي تخمر البيرة والنبيذ وعجين الخبز-يمكن أن توصف أيضا بأنها من الكائنات العليا. ووفقا لهذه المصطلحات تكون «الكائنات الدنيا» هي «بدائية النو». وهذا المصطلح يشمل كل البكتيريا بأشكالها المتعددة للغاية، ومنها أيضا الطحالب الخضراء المزرقة، أما أنواع الطحالب الأخرى فهي من حقيقية النوى، ومثلها أيضا الأميبا والهدبيات وكثير غيرها من الكائنات الدقيقة وحيدة الخلية.

وتقسيم الكائنات الحية إلى هذين القسمين العريضين تقسيم مهم، لأنه واضح وعميق. والأمر لا يتعلق بمجرد وجود نواة حقيقية للخلية، إنما يشمل أيضا نواحي أخرى في الهندسة الداخلية للخلية. ولم يكن من السهل دراسة هذه النواحي بطريقة فعالة دون استخدام التجهيزات الحديثة، مثل

الميكروسكوب الإلكتروني الذي يسمح بتصور مكونات الخلية في تفاصيلها الدقيقة بشكل لم يكن ممكنا قبلا. ولهذا السبب فإن التقسيم إلى حقيقية النوى وبدائية النوى تقسيم حديث نسبيا، لم يبدأ إلا منذ نحو عام 1960.

ما الفرق بينهما؟ بشكل عريض سنجد أن حقيقية النوى لها كروموسومات متطورة جدا، توزع بعد النسخ عن طريق الانقسام الفتيلي أو الميتوسي الذي يحتاج إلى جهاز خاص به. أما «كروموسومات» بدائية النوى فهي أبسط كثيرا، كما أنها تفتقر إلى الجزيئات التي يصنع منها المغزل الميتوسي. ويوجد بحقيقية النوى داخل السيتوبلازم مكونات عديدة خاصة تضم نظم أغشية متطورة (لا توجد عادة في بدائية النوى)، وكذا عصيات صغيرة خاصة مثل الميتوكندريا، وبهذه الميتوكندريا يوجد الـ د ن أ الخاص بها، ولها جهازها الخاص لتخليق البروتين، ويظن أنها تنحدر من كائن بدائي النواة ذي حياة طليقة دخل الخلية، ثم تدهور في نهاية الأمر بحيث لم يعد أمامه طريق للبقاء إلا بالمعيشة في تكافل مع الخلية التي تعوله. والاسم الشائع للميتوكندريون هو «محطة توليد القوى بالخلية» لأنه يحتوى على الجهاز الجزيئي للاحتراق الفعال للطعام باستخدام الأكسجين الجزيئي. وتحتوي الخلية الواحدة في أجسامنا على المئات منها، إن لم يكن الآلاف.

ربما كان أهم الفروق بين حقيقية النوى وبدائية النوى هو ما يختص بطريقة دخول المواد وخروجها منها. فهناك في حقيقية النوى آليات معينة لابتلاع الجسيمات الكبيرة-أو ما يسمى بالبلعمة-بجانب تراكيب داخلية خاصة لهضمها. أما بدائية النوى فليس لها مثل هذه الآليات الجزئية ولا يمكن أن يمر خلال أغشيتها إلا ما هو في حجم الجزيء.

لسنا في حاجة إلى معرفة كل التفاصيل. ولكن بدائية النوى بشكل عام كائنات أبسط، تفتقر إلى الجزيئات الخاصة التي تسمح لحقيقية النوى الأكثر تعقيدا بالقيام بعمليات معقدة، عمليات مكنتها من أن تحوى قدرا أكبر كثيرا من المعلومات الوراثية (وذلك بالسماح بطاقم من الكروموسومات بدلا من مجرد قطعة واحدة فقط من الـ دن ا) وأهلتها كي تعيش على كائنات أخرى وأن تحرك الجزيئات بداخلها بطريقة هادفة. أما أهم الصفات التي تجعل حقيقية النوى أرقى من بدائية النوى فهو وجود جهاز جزيئي لتوليد الحركة وتنظيمها داخل الخلية. هذا الجهاز هو الذي قاد إلى تكوين

العضلات، الضرورية للحيوانات، وسمح بالرقصة المعقدة للكروموسومات التي نراها أثناء الانقسام الميتوسي.

لماذا إذن نهتم بالبكتيريا كمسافر فضاء محتمل داخل الصاروخ إذا كانت معيبة على هذا النحو؟ إن مفتاح الإجابة في كلمة واحدة: الأكسيجين. إن الأغلب أن يحتوى عالم ما قبل-الحياة على قدر ضئيل من الأكسيجين. وبذا فلا بد من أن نتفحص الكائنات الحية الموجودة الآن على الأرض لنعرف احتياجاتها من الأكسيجين.

إن أهم ما يميز الأكسيجين هو أنه يسمح للخلية بأن تحصل من تمثيل غذائها، على طاقة أعلى كثيرا في العملية التي تسمى التنفس. ويستطيع البعض القليل فقط من البكتيريا استعمال مركبات غير عضوية معينة-مثل الكربونات والنترات والكبريتات-بدلا من الأكسيجين. ولكن احتمال وجود هذه المركبات بالذات على الأرض البدائية ضعيف حقا بسبب غياب الأكسيجين في الجو. وفي غياب مثل هذه المركبات يصبح على الخلية أن تلجأ إلى عملية لها كفاءة أقل كثيرا، وهي عملية «التخمر». وأهم ما في التخمر هو أنه يمكن أن يجرى في الغياب التام للأكسيجين، ولكنه يعطى قدرا أقل كثيرا من جزيئات ثلاثي فوسفات الأدينوسين: ث ف أ-ATP (صورة الطاقة بالخلية)، مقارنة بالتنفس.

والأكسيجين الجزيئي مركب فعال وإن كان خطيرا، فمن الممكن أن يكون مادة شديدة السمية بالنسبة للخلية، لأن العمليات الخلوية قمينة بأن تنتج مشتقات سامة عديدة مثل بيروكسيد الهيدروجين (O2 H2)، بل حتى المركب الأكثر خطورة: فوق الأكسيد ذي الأساس الحر (O2). وبالكثير من الخلايا إنزيمات خاصة للتخلص من مثل هذه المواد التي تهدد الحياة. ولكن بعض أنواع البكتيريا لا تمتلك إنزيمات كهذه. ويعتبر الأكسيجين بالنسبة لها سمّا ولا يمكنها أن تعيش إلا في الأماكن الخالية من الأكسيجين مثل الطين العميق، ولا تكون الأرض البدائية بالنسبة لها بيئة غير مواتية.

الأكسيجين- ولعلنا نذكر أنه ناتج ثانوي من نواتج التمثيل الضوئي-مهم بالنسبة لمعظم الكائنات، فهي مثلنا لا تستطيع أن تعيش دونه. ولهذا السبب بالذات لا يلزم أن يهتم بمعظم الخلايا العليا تطورا عند التفكير في من نرسل لاستعمار الفضاء. يمكننا إذا استبعاد كل الكائنات فيما عدا البكتيريا

والقليل من البروتوزوا مثل الخميرة[1]. وبعض هذه الكائنات الأخيرة يمكنه استعمال الأكسيجين إن وجد-والخميرة مثال-وبعض آخر لا يمكنه استخدام الأكسيجين على الإطلاق وبعض اللاهوائيات يمكنه تحمل الأكسيجين، وبعض آخر يقتله هذا الغاز.

بعد هذا التمهيد دعنا نعرف شيئا عن البكتيريا. هناك من البكتيريا أنماط عديدة جدا بحيث يصبح الوصف المختصر-بالضرورة-مجرد رسم تخطيطي. إنها صغيرة عادة، وليس هذا بمستغرب لأن بها قدرا متواضعا من دن ا، في حدود مليون زوج من القواعد. والحجم النمطي لها-وإن كان يتباين تباينا واسعا-يبلغ ميكرونا واحدا أو بضعة ميكرونات (والميكرون 0,001 من المليمتر)، نعني أنها عادة ما تكون أكبر قليلا من طول موجة الضوء المرئي الذي يبلغ نحو نصف ميكرون. ولهذا السبب فبالرغم من أننا نستطيع أن نراها تحت الميكروسكوب الضوئي القوي، وأن نرى حجمها التقريبي وشكلها (وقد يكون كرويا أو عصويا أو متماسكا في شكل سلاسل)، فإننا مازلنا في حاجة إلى تقنيات أخرى كي نكشف أسرارها. ولقد ثبت لحسن الحظ أن بعض البكتيريا مثالية للعمل عليها بالطرائق الكيميائية الحيوية الحديثة، الشيء الذي تسبب في إجراء كميات هائلة من البحوث عليها، وبالذات خلال الأعوام الثلاثين أو الأربعين الأخيرة. وقد بيَّنتْ هذه البحوث أن البكتيريا كائنات عجيبة حقا.

ربما يظن البعض أن صغر حجم البكتيريا قد يتسبب في افتقارها إلى المرونة الكيميائية، ولكن هذا أبعد ما يكون عن الحقيقة. فالكثير منها يستطيع أن يعيش على بيئة كيميائية بسيطة جدا، لا تحوي أكثر من مصدر للكربون، ومصدر للنيتروجين (مثل الأمونيا: (NH_4^+))، ومركب آخر لا يلزم أن يكون عضويا يستخدم في الحصول على الطاقة. والكثير منها غير محتاج إلى معظم الفيتامينات لأنه يستطيع تخليقها بنفسه، بدلا من استخلاصها من الغذاء كما نفعل نحن. ولا هي محتاجة إلى الأحماض الأمينية «الأساسية» التي نحصل عليها نحن من تحليل البروتين الموجود في غذائنا، لأنها تستطيع أن تصنع هذه الأحماض أيضا. والكثير منها يتحرك،

---

(1) لا تعد الخميرة من البروتوزوا، وإنما هي من الفطر [المراجع].

يتحرك باستخدام أسواط بدائية. فإذا ما وجد تركيزا من جزيئات الغذاء سبح في اتجاهه عن طريق استراتيجية بسيطة، وبالأسلوب نفسه يمكنها أن تتجنب بعض السموم. ويمكنها تحت الظروف المواتية أن تنمو وتنقسم بسرعة كبيرة. ففي المرق الدسم الغني بالأكسجين يمكنها أن تنقسم إلى اثنتين في زمن يبلغ عشرين دقيقة فقط، أما في الظروف غير المواتية تماما فقد يتطلب الأمر نصف يوم للتضاعف. ولكن مقدرتها رهيبة على التزايد العددي حتى تحت هذا المعدل-المنخفض الأخير-طالما وجدت الغذاء اللازم، ولديها أيضا آليات فعالة لتنظيم جهاز أيضها، فهي تستطيع وقف إفراز الانزيمات عند عدم الحاجة إليها (بسب وفرة الغذاء)، إلى أن تشعر بالحاجة إليها مرة أخرى. أما من الناحية الأيضية فيبدو أنها هيئت تماما للنمو السريع، ففي الكثير من الظروف البيئية نجدها الأسرع نجاحا من بين كل الخلايا فتفوز في حلبة المنافسة بالانتخاب الطبيعي أجيالها التالية. وحياتها الجنسية محدودة للغاية، إذ تنقسم الخلية إلى اثنتين معظم الوقت دون أي عملية جنسية، ولكن أحيانا تتقارب خليتان ثم-وعن طريقة آلية خاصة-تمرر إحداهما (الذكر) بعضا من الـ دن ا الخاص بها إلى الأخرى (الأنثى)، وقد تكون هذه العملية بطيئة نسبيا، بحيث يستغرق نقل المادة الوراثية زمنا قد يصل إلى ساعتين، أي بضعة أضعاف طول الحياة الطبيعي.

ولأن التكاثر الجنسي ليس أساسيا، فمن الممكن أن ننمي مستعمرة بكتيرية من خلية واحدة، ولأنه لا يلزمها أن تبحث، للتكاثر، عن قرين، فمن الممكن آن تنمو متباعدة جدا عن بعضها البعض.

وللبكتيريا عادة غلاف خلوي صلب خارج غشاء البلازما الرقيق، وهو الحاجز الفعال على المستوى الجزيئي بين داخل الخلية وخارجها. وهذا الغلاف يحفظ الغشاء البلازمي من التلف، وبالذات من الانتفاخ الأسموزي الذي يحدث-لولاه-إذا وجدت الخلية نفسها في محلول مائي مخفف أكثر من اللازم. وعلى هذا فإن الكثير من البكتيريا لا يهتم كثيرا بتركيز الأملاح أو المركبات العضوية في البيئة من حوله. وهناك ميزة أخرى للبكتيريا وهي أنها تقبل أن «تجفف بالتبريد»، وهي عملية تبرد فيها البكتيريا أولا ثم يستخلص منها الماء بطريقة لا تسبب إلا أقل الأضرار للتراكيب الخلوية.

وللبكتيريا على الأرض صور عديدة، وهي تعيش في بيئات متباينة

تماما-من الينابيع الحارة إلى الصحراوات الجرداء، بل إن بعضها قد تطور لينجح تحت ظروف الإشعاع المكثف-داخل المفاعلات الذرية مثلا. وبعضها يمكنه استعمال مركبات غير عادية، مثل كبريتات الهيدروجين (H_2S)، وأيونات الحديدوز، والميثان، ولو أنها عادة ما تحتاج إلى الأكسيجين عندئذ. فإذا كان في مقدورها أن تقوم بالتمثيل الضوئي أيضا، فمن المحتمل أن تنجح في غياب الأكسجين. وبعض البكتيريا لاهوائي تماما ويمكنه أن يستخدم الهيدروجين، فينتج غاز الميثان. وبعض آخر يمكنه «تثبيت» النيتروجين، نقصد أنه يستطيع أن يحصل على حاجته من النيتروجين من N_2 الخامل الموجود بالجو. وهناك بعض منها يستطيع أن يقوم بأنواع مختلفة من التمثيل الضوئي، فيحصل على طاقته من الشمس. ومحاولة مناقشة كل هذه الإمكانات سيجرنا إلى الخوض في الكثير من الأمور الفنية.

علينا أن نولي الآن اهتماما أكبر لمجموعة معينة من الكائنات الدقيقة هي الطحالب الخضراء المزرقة، أو البكتيريا الخضراء المزرقة كما تسمى الآن، على الأقل لأنها تشكل على ما يبدو أقدم الحفريات الميكروبية. والمجموعة ككل متباينة جدا، برغم وجود سمات شائعة بين أعضائها. فهي جميعها تستطيع الحصول على الطاقة من الشمس، وبعض منها يستطيع أيضا أن ينمو-ببطء-في الظلام مستخدما في ذلك عددا محدودا من مركبات الكربون. ومن المثير أن الكثير منها يستطيع أن يثبت النيتروجين، وهي، هذه الحالة، تحتاج إلى القليل جدا كي تحيا، مجرد بيئة لا تحوى إلا بضعة أملاح، ثم تستخدم الضوء في الحصول على الكربون من CO_2 والنيتروجين من N_2. ومثل هذه الكائنات عادة ما تتكون من سلسلة من الخلايا المرتبطة، تقوم فيها خلايا معينة (تسمى هيتيروسايتس-أي الخلايا المخالفة-) بتثبيت النيتروجين وتتخصص في هذه المهمة ولا يمكنها أن تنقسم ثانية.

فليس من المستغرب إذا أن تعيش هذه البكتيريا الخضراء المزرقة في أماكن متباينة للغاية، فنجدها في مياه البحر المالحة وفي المياه العذبة وفي التربة. وبعض منها يزدهر في الينابيع الحارة، وبعض آخر في الصحارى حيث يعيش في شقوق الصخور.

وبعد هذا العرض السريع لعالم البكتيريا دعنا الآن نلخص مزايا هذه الكائنات الدقيقة للسفر في الفضاء. الكثير منها كما رأينا صغير فعلا،

فالبكتيريا النمطية مثل إشيريشيا كولاي Escherichia coli يبلغ عرضها ميكرونا واحدا وطولها ميكرونين، نعني أنه من الممكن أن نعبئ بليونا منها في حجم لا يتجاوز بضعة سنتيمترات مكعبة. ومن الممكن أن تجفف حية بالتجميد، ليظل الكثير منها حيا عند تدفئته فيما يعد. وهي تصمد في الحالة المجمدة إلى مالا نهاية دون أي خسائر خطيرة. وفي درجات الحرارة المنخفضة جدا كتلك الموجودة بالفضاء يستطيع الكثير منها أن يبقى حيا مدة تصل إلى عشرة آلاف عام. والبكتيريا محصنة أيضا ضد آثار الصدمات وما شابهها من مخاطر. فإذا ما صادفها الحظ الطيب وسقطت في محيط قبل حياتي فالأغلب أن تزدهر، لاسيما وأن الكثير من أنواعها يستطيع الحياة دون أكسيجين أو بالقليل منه. والحقيقة أن بعض البكتيريا يمكنها أن تنمو وتتكاثر بشكل فعال على بيئات بسيطة توفرها تقريبا كل الأحسية قبل-حياتية. طالما كان الجو ليس شديد البرودة. أضف إلى ذلك أنها لا تحتاج إلى أن توجد مجتمعة، فخلية بكتيرية واحدة يمكنها تحت الظروف الملائمة أن تعدى محيطا بأكمله.

قد تبدو البكتيريا بسيطة للغاية مقارنة بكائنات مثل الإنسان. أما إذا ما نظرنا إليها كمصانع كيميائية ذاتية التكاثر فسنجدها ليست محكمة وقوية فحسب وإنما هي أيضا بارعة من الناحية الكيميائية. ومن الغريب أن أحدا-أحدا علميا-لم يحاول أن ينمي البكتيريا متعمدا في «حساء» صناعي على طريقة يوري-ميلر (الواقع أن الكثير من المجريين بذلوا قصارى جهودهم في استبعاد الكائنات الدقيقة من أنابيق الحضانة). ولكنا نتوقع أن ينجح الكثير من طرز البكتيريا في الحياة بها والازدهار فيها، حتى في غياب الأكسيجين الجوي.

لكل هذه الأسباب إذا تكون الكائنات الحية الدقيقة-خصوصا منها ما يمكنه أن يحيا دون الأكسيجين-هي الكائنات التي تفرض نفسها كي تبعث إلى الكواكب الأخرى، طالما كان الغرض هو أن نجعل الحياة تبتدئ هناك، ولم يكن إرسال كائن أعلى مكتمل له بعض فرص الحياة. هذا هو ما جعلني أنا وأو رجل نقترح هذه الكائنات كأنسب شحنة في سفينة الفضاء غير المزودة بالملاحين والتي افترضناها لنقل البذور الكونية الموجهة.

12 تصميم الصاروخ؟

قبل أن نفهم الطريقة التي يمكن بها تصميم الصاروخ لإرسال الكائنات الحية الدقيقة إلى كوكب آخر، دعنا نتناول أولا كيفية إرسال رجال الفضاء. تحتاج سفينة الفضاء لتسييرها بسرعة عالية إلى محرك (موتور) صاروخي قوي، وإلى قدر كاف من الوقود. ويلزم أن يكون بها مكان لرجال الفضاء وكذا لاحتياجاتهم الأساسية (كالغذاء والأكسيجين.. الخ) خلال الرحلة الطويلة المظلمة، بجانب كل الآلات اللازمة لمراقبة السفينة وقيادتها وللاتصال بالكوكب الوالد. ولا بد من أن يتبقى بها من الوقود ما يكفي لإبطاء السفينة عند وصولها حتى تهبط برجال الفضاء بسلام على سطح أحد كواكب أو كويكبات النجم المختار. والمفروض ألا يكون التسارع أو التباطؤ عنيفا للدرجة التي تقتل الركاب. ولا يلزم أن تعود السفينة بالركاب، فهم مستعمرون لا سياح.

من الأفضل طبعا أن ينطلق الصاروخ بسرعة كبيرة، فإنهم إذا ما زادوا سرعتهم للغاية لتقترب من سرعة الضوء حدث الاتساع النسبوي* للزمن، فالرحلة التي تحتاج بضعة آلاف من السنين بتقويم أي من النجمين (المرسل والمستقبل) ستبدو

* نسبة إلى «النسبية» (relativistic time dilation).

بالنسبة للرواد داخل الصاروخ بضع عشرات من السنين. وهذه إحدى النتائج الغريبة التي يمكن استنباطها من النظرية الخاصة للنسبية.

وقد اتضح أن هذا الاتساع يكاد يكون مستحيلا بالنسبة للإنسان (على نقيض الإلكترونات)، ليس فقط بسبب الحاجة إلى تكنولوجيا متقدمة جدا، وإنما أيضا بسبب قوانين الفيزياء الأساسية الخاصة بالطاقة والقوة والكتلة. فعلى سبيل المثال سوف يحتاج الصاروخ إلى قدر كبير من الطاقة ولكن ينبغي ألا يكون ثقيلا جدا، وعلى هذا فهو يتطلب وقودا غنيا جدا في الطاقة، وليس هناك من طريقة لإنتاج مثل هذا الوقود أفضل من استخدام وقود إفناء أضداد المادة بالمادة * غير أن مشكلة تخزين أضداد المادة بأمان تبدو بلا حل. أما أفضل البدائل الأخرى فهو استخدام الاندماج النووي الذي به يمكن تحويل الهيدروجين إلى هليوم يدفع به إلى الخلف لتنطلق السفينة إلى الأمام. وقد حسب إدوارد بيرسل E.Purcell. أنه حتى مع استخدام محرك «مثالي» من هذا النوع للصاروخ فإن سرعة العادم لن تصل إلا إلى 1 /8 سرعة الضوء. ولكن السرعة ستكون أقل من هذا، من الناحية العملية. ويصبح الصاروخ أقل كفاءة عندما تزيد سرعته كثيرا عن سرعة العادم. ومثل هذه الحسابات تبين أن كتلة الصاروخ زائدا الوقود لا بد من أن تكون أكبر كثيرا من كتلة الحمولة الصافية فيما نصل إلى سرعة تقارب سرعة الضوء.

وبغض النظر عن مشكلة التسارع في سفينة الفضاء لكي تصل إلى هذه السر عات الرهيبة، فضلا عن التباطؤ المطلوب عند الوصول، هناك مشكلة أساسية هي حماية السفينة من التلف. إن معظم الفضاء فارغ تماما، ولكن به ذرات وجزيئات متفرقة بل حتى أجزاء صغيرة من الغبار. وبالرغم من أن حركة هذه الجسيمات قد تكون منخفضة جدا إلا أنها ستصطدم بالسفينة

---

* ضد المادة هي المادة مؤلفة من أضداد الجسيمات الأولية (المكونة للذرات)، فلكل جسيم أولي للمادة مقابل، فيه خصائصه بعينها، وإنما يحمل شحنة كهربائية معاكسة (إن كان مشحونا كهربائيا) واتجاه دوران ذاتي مضاد. فإذا قابل جسيم ضده أفنى أحدهما الآخر، فتتحول كتلتاهما إلى إشعاع كهربائي مغناطيسي. ومثال على ذلك «البوزيترون» (موجب الشحنة) و«الإلكترون» (سالب الشحنة)، اللذان إذا اتحدا كونا فوتونين آو ثلاثة فوتونات (أي تحولا إلى إشعاع). ولما كان في الكون من المادة ما يفوق كثيراً ما بها من أضداد المادة، فإن أضداد المادة قصيرة العمر، إذ نفنيها المادة سريعا [المراجع].

بعنف بالغ بسبب سرعة السفينة نفسها. وفي السرعات المعقولة يمكن حماية السفينة وأجهزتها عن طريق غطاء سميك من المادة يغلفها كدرع واقية: أما في السرعات العالية جدا-التي تقترب من سرعة الضوء-فإن السمك المطلوب للغطاء يصبح مستحيلا.

وقد قدمت اقتراحات عبقرية كثيرة للتغلب على هذه الصعوبات، فبدلا من أن تحمل السفينة كمية كبيرة من الوقود، من الممكن أن تلقف المادة من الفضاء وتستخدمها كوقود. ولكن، حتى لو أمكن تنفيذ هذا بنجاح، فإن المادة في الفضاء نادرة بحيث يلزمنا آلة تجميع ضخمة-قطرها يبلغ مائة ميل-. وربما أمكن تجنب الضرر بأن تحرف المادة التي تصادفها السفينة جانبا، ولكن هذه مهمة خارقة تبدو أصعب من أن تنفذ. أما الأفكار الوحيدة التي يبدو أنها لا تزال تدور، فتعتمد على تزويد سفينة الفضاء بطاقة الدفع من الكوكب الوالد لا من السفينة نفسها، مثلا عن طريق شعاع ليزر، فهذا يسمح بأن تكون السفينة صغيرة نسبيا وخفيفة(وإن كالت حجمها لا يزال كبيرا)، إذ ستخفف من حمل كمية الوقود الهائلة اللازمة بالطرق التقليدية. ولكن، حتى هذه التقنيات-وهي تقنيات قد لا تتم إلا في المستقبل البعيد جدا-لن تدفع سفينة الفضاء بأسرع من نصف سرعة الضوء. وعند مثل هذه السرعة يكون أثر اتساع الزمن بسيطا نسبيا. وعلى هذا، فمن الممكن مؤقتا أن نقول إن السفر الفضائي النسبوي مستحيل.

وهذا يعني أن الزمن بالنسبة للملاحين سيكون ببساطة هو مسافة الرحلة مقسومة على متوسط سرعة السفينة. فالسفر لمسافة مائة سنة ضوئية بسرعة تبلغ جزءا من مائة جزء (0,01) من سرعة الضوء يحتاج إلى عشرة آلاف سنة. وإذا استثنينا الرحلات القصيرة جدا في سفن متقدمة للغاية فإن الرحلة على الأغلب ستستغرق وقتا أطول من عمر الإنسان (من الطبيعي أن الكائنات التي تطورت في أماكن أخرى قد يكون لها فترات حياة أطول). فإما أن نتمكن من مد فترة الحياة بطريقة ما-بتجميد رجال الفضاء إذا ثبت أن هذا ممكن-وإما أن يتكاثر رجال الفضاء داخل السفينة. وهذا ليس رأي في معنى الحياة الطيبة.

قلنا ما يكفي لنوضح أن نجاح إرسال مستعمري الفضاء مهمة صعبة للغاية، أبعد كثيرا من كل قدراتنا الحالية. إن ما يلزم تحقيقه من العبقرية

والإصرار والعزم لهو من الضخامة حتى لاشك أنا نفسي في أن نتمكن نحن أو نسلنا من إتمامه بنجاح، ولو أنا لا نستطيع أن نتنبأ بما يخبؤه المستقبل لنا.

وبعد هذه السلسلة من الاقتراحات لحل المعضلة، فلعله مما يخفف عنا الآن أن نتحول إلى إحدى مشكلاتنا الأرضية، وهي إرسال بكتيريا بسيطة إلى كوكب آخر. ولمعالجة هذا الموضوع سأقوم أولا بعرض التقنيات المطلوبة، وهي إن كانت مستحيلة الآن إلا أنها ليست بعيدة في المستقبل.

بعد أن انتهينا إلى أن سفينة الفضاء يجب أن تسير بسرعة كبيرة-لن تصل إلى سرعة الضوء-سنجد من الصعب أن نخمن أفضل السرعات احتمالا. إن في مقدورنا الآن أن نبني سفن فضاء تستطيع أن تخرج من النظام الشمسي بسرعات في حدود ثلاثة أميال في الثانية أي 0015, 0 ٪ من سرعة الضوء. ودون الدخول في التفاصيل-عن استعمال الانفجار النووي، عن استخدام شعاع من الأرض يمكنه تزويد السفينة بالطاقة اللازمة للتسارع.. الخ-يبدو من المؤكد أننا سنستطيع أن نصمم سفينة تسافر بسرعة تبلغ جزءا واحدا من ألف جزء من سرعة الضوء. إن رفع السرعة إلى عشر سرعة الضوء يبدو أمرا صعبا جدا، أما السرعة المعقولة التي يمكن تخمينها فقد تكون واحدا من مائة من سرعة الضوء.

يوجد خلال المائة مليون سنة ضوئية حول الأرض بضعة آلاف من النجوم، ليس من المستغرب أن يكون لأحدها كوكب على سطحه بيئة تشبه البيئة التي تحتاج إليها البكتيريا الموجودة لدينا. وطبيعي أن النجوم لم تكن في المرحلة الأولى من نشأة الكون متباعدة كما هي الآن. وربما تكون الحضارة الأقدم قد ظهرت بمكان من المجرة كانت النجوم فيه متقاربة. وعلى العموم فإن وجود كوكب مناسب في حدود عشر سنين ضوئية يعتبر احتمالا ضعيفا، أما في حدود ألف سنة ضوئية فيبدو أمرا أكثر من محتمل. والواضح أن مائة سنة ضوئية تعتبر تخمينا جيدا.

تستغرق الرحلة إذا نحو عشرة آلاف سنة، وهذا الرقم يبدو بمقاييسنا المعتادة زمنا رهيبا، ولكن ليس للدرجة التي تحتم فشل التجربة. لم يقم أحد بحفظ البكتيريا في البرودة زمنا مثل هذا. ولكن لدينا نتائج عن فترات أقصر كثيرا تشير إلى أن البكتيريا إذا جمدت بعناية، وحفظت باردة

كما يجب فإن الكثير منها يتحمل هذه المعاملة مددا طويلة حقا. ويبدو من المحتمل جدا أن تمهد الأبحاث في المستقبل الطريق لحفظ البكتيريا مددا قد تصل إلى عشرة آلاف سنة، بل ربما مليون سنة. على أي حال، نستطيع أن نرسل أعدادا ضخمة من البكتيريا بحيث يمكن تحمل قدر كبير من الخسائر، طالما ضمنا بقاء بعض منها حيا لاستعمار البيئة الجديدة.

أما المشكلة الأخطر فهي التأكد من أن سفينة الفضاء تستطيع أن تعمل بكفاءة بعد عشرة آلاف سنة في الفضاء، ذلك لأن الصاروخ يجب أن يؤدي وظيفته ليس فقط عند بدء الرحلة وإنما أيضا عند نهايتها، فتوصيل البكتيريا إلى الكوكب ليس بالأمر العادي السهل، وليس من العملي أن يطلق الصاروخ إلى الفضاء الفارغ ثم نتمنى له أحسن الفرص للنجاح. فالنجوم متفرقة لدرجة يحتمل معها أن تعبر السفينة المجرة تحت أي سرعة معقولة لتخرج من الناحية الأخرى. يلزم إذا أن يحدد النجم الهدف ثم يحفظ الصاروخ في مساره الصحيح خلال الرحلة. وهذا أمر بسيط نسبيا ولكن المشكلة الأساسية تظهر عندما تقترب سفينة الفضاء أخيرا من النجم، هنا يجب أن تبطؤ سرعتها، وهذا يعني أنها لا بد من أن تكون حاملة للوقود الصاروخي طيلة الرحلة، وأن تكون محركات الصاروخ ونظام التحكم فيه لا تزال في حالة صالحة للعمل، كما يلزم أيضا أن تتمكن السفينة من اختيار كوكب ملائم لتستقر فوقه، ثم تحرر شحنتها من البكتيريا بطريقة لا تقتلها أثناء دخولها الغلاف الجوي للكوكب وكذا عند ارتطامها بالمحيط البدائي. وليس في هذا كله ما هو مستحيل، ولكنه فقط يحتاج إلى تكنولوجيا عالية جدا لكي تؤدي أجزاء الصاروخ المختلفة وظائفها بشكل موثوق به بعد هذه الرحلة الطويلة في الفضاء. للمشكلة إذا حل، ولكن على المدى البعيد، لا القريب.

وأيا كانت تفاصيل سفينة الفضاء ففي إمكانها على ما يبدو أن تحمل وتنقل الكثير من الكائنات الحية الدقيقة. وتقول صواريخنا الحالية إن حملا صافيا يبلغ مائتي رطل يعتبر حملا معقولا. والبكتيريا من الصغر بحيث يمكن أن نعبئ منها في هذا الحيز 1610 إلى 1710 فردا. ولأن هذا العدد كبير جدا، فمن الممكن أن يعبا في حزم منفصلة عديدة، الشيء الذي يسهل كثيرا عملية التوصيل. فإذا ما وصلت السفينة نهاية رحلتها نثرت الحزم في كل مكان في الغلاف الجوي لتسقط متفرقة على سطح الكوكب.

والمفروض أن تعبأ كل حزمة داخل غلاف يتحمل حرارة الاحتكاك المتولدة عن الاندفاع داخل الغلاف الجوي بتلك السرعة الفائقة، كما يتحمل أيضا صدمة الارتطام بسطح المحيط (فتلك التي ستسقط على اليابسة تعتبر مفقودة). وما إن تصل إلى الماء حتى يذوب غلافها لتحرر البكتيريا. تبدو هذه المتطلبات جميعا كما لو كانت سهلة التحقيق وإن احتاجت إلى قليل من الحذق والمهارة. ولتعدد الحزم ميزة، وهي أنه لو حدث وسقط الكثير منها في أماكن غير ملائمة، فسيكون من حظ بعض قليل أن يقع في أماكن صالحة. إن عددا قليلا جدا من البكتيريا يعدى كوكبا معقما-بل ربما تكفي لذلك خلية واحدة طالما تمكنت من النمو والانقسام بنجاح.

ولأنه من الممكن إرسال الكثير من البكتيريا فمن الأفضل أن تكون من أكثر من سلالة واحدة. لن يكون من السهل التعرف على طريقة اختيار هذه السلالات، لأن ذلك سيعتمد إلى حد ما على أنواع الكائنات الدقيقة الموجودة على الكوكب الذي يرسل الصاروخ. ولأننا نستبعد أن يحتوي الغلاف الجوي للكوكب الجديد على الأكسيجين، فمن الطبيعي أن ترسل كائنات دقيقة لا تفضل استخدام الأكسيجين في تمثيل غذائها. ولا شك أن من الأفضل أن ترسل الكائنات التي سبق تأقلمها على الظروف المتوقعة على الكوكب الجديد. وربما كانت جميعها تستخدم المركبات العضوية كمصدر للطاقة، ولكن بعضا منها قد يكون قادرا على استخدام الطاقة المخزنة في بعض المواد المعدنية. وستكون صفة التمثيل الضوئي مرغوبا فيها جدا، وكذا أيضا القدرة على تكوين الأبواغ (الجراثيم)، على الأقل في في السلالات. وربما كان مطلقو السفن الفضائية قد طوروا سلالات جديدة تماما من الكائنات الدقيقة صممت خصيصا لمواجهة ظروف ما قبل-الحياة. أما التساؤل عما إذا كان من الأفضل محاولة جمع كل الصفات المرغوب فيها في نمط وحيد من الكائنات، أم إرسال العديد من الكائنات المختلفة، فهو أمر ليس واضحا تماما. أيا كان الحل الأفضل، فلا يبدو أنه يشكل صعوبات خطيرة. والواقع أن من الممكن إجراء مثل هذا البرنامج البحثي الآن، فلقد ابتدأنا في تطوير طرائق فعالة لتحوير التركيب الوراثي للكائنات، لاسيما الكائنات الدقيقة. وقد أشارت دراسة أجريت سنة 1976 عن قابلية المريخ للحياة إلى أن أفضل أنواع الكائنات الدقيقة قد تكون كائنات من الطحالب الخضراء المزرقة

الحالية. ومن اللافت للنظر-كما سبق أن ذكرنا-أن أقدم الحفريات الدقيقة على ظهر الأرض كانت على الأغلب من هذا النمط بالتحديد.

ويصعب تحديد مدى تطور الكائن الحي الدقيق الذي يرسل. فإذا كان المطلب الأساسي هو بدء أي شكل من أشكال الحياة مهما كان أوليا، وإذا كانت المهمة خطيرة وصعبة فإن هذا يزكي كائنات أكثر بساطة وأكثر خشونة وقدرة على التحمل. وإذا ما كان المتوقع أن يجد الكائن عند وصوله الكوكب بيئة تسهل فيها الحياة فمن المعقول جدا أن ترسل كائنات أكثر تقدما حتى يبدأ التطور من نقطة متقدمة. وإذا ما حاولنا نحن أن نختار الكائنات الدقيقة فإننا بكل تأكيد سنميل إلى اختيار نوع من حقيقية النوى، نقصد خلية ذات كروسوسومات ونواة حقيقية، وجزيئات عملاقة نافعة-مثل الأكتين والتيوبيولين-تساعد في إضفاء الحركة على الخلية ومكوناتها، والخميرة مثال لهذه الخلية المتطورة. إنها تستطيع أن تحيا جيدا على الأكسيجين، ولكنها تستطيع أيضا أن تحيا من دونه.

فإذا ما كانت مثل هذه الكائنات قد وصلت الأرض عند بدء الحياة هنا فلن نجد من آثارها في السجل الحفري إلا القليل. فحقيقيات النوى الحالية-على حد تقديرنا-قد ظهرت في الصورة متأخرة جدا. ونستطيع دائما أن نجادل بأن نوعا من حقيقيات النوى قد وصل هنا أولا، وأنها فشلت في المنافسة مع البكتيريا الأكثر ملاءمة فاندثرت-ربما بعد ما استهلك الزاد الغذائي الأصلي الذي كان موجودا بالمحيطات البدائية-. ومن ناحية أخرى، فربما تخلصت حقيقيات النوى هذه من الكثير من صفاتها غير اللازمة وتحولت إلى كائنات أبسط وأكثر قدرة على مواجهة الصراع من أجل البقاء. فإذا ما كانت الشحنة التي وصلت مزيجا من الكائنات الدقيقة المختلفة، فمن المستبعد أن تنقرض الحياة تماما إذا كانت قد ثبتت نفسها، فهذه الكائنات خشنة فعلا وبارعة. ولكن إلى أن تجرى التجارب، سنظل نتردد في التنبؤ بأنواع الكائنات الدقيقة التي ستكون لها الغلبة في تلك البيئة البعيدة تماما عن خبرتنا المعتادة.

وثمة شئ يتضح تماما من هذه المناقشة. ففي البيئة الخاصة بالمحيط قبل-الحياتي، خصوصا إذا كان الغلاف الجوي غير مؤكسد، تتميز بعض الكائنات الدقيقة على غيرها من أشكال الحياة تميزا واضحا. هذه الكائنات-

كما ذكرنا في الفصل السابق-بارعة كيميائيا، والأكسيجين ليس أساسيا لبقائها، وهي تستطيع بسبب صغر حجمها أن تتكاثر بسرعة كبيرة. فإذا أضفنا إلى هذا أن لها خصائص تميزها في السياحة الكونية: صغر حجمها، قدرتها على تحمل التجمد ثم الانصهار، قابليتها الضعيفة نسبيا للتلف بالإشعاع، عندئذ سنرى أنها أنسب ما ينجح في الإخصاب ما بين الكواكب.

ومن الجائز أن يتمكن الإنسان-إذا توفر له الزمن الكافي-من أن يسافر مسافات محدودة في الفضاء أبعد من الحدود الضيقة للنظام الشمسي، ولكن، أيا كانت المسافة، فإن البكتيريا تستطيع أن تمضي أبعد. وسيبقى هذا التفوق على الأغلب حتى مع ازدياد التقدم التكنولوجي.

وتصبح لهذه النقطة أهميتها إذا أردنا مواجهة بعض ممن قد اقتنع بأن رحلات الفضاء ستصبح سهلة في نهاية الأمر، فهم سيدفعون بأنه إذا ما أمكن أن نبعث بالبشر، فلماذا نهتم بالبكتيريا؟ فحتى لو ثبتت صحة هذا، فهناك لا تزال حالة فرضية تكون فيها «للبذور الكونية الموجهة» ميزتها. لنفترض أن شكلا من الحياة متطورا نشأ فعلا منذ أربعة بلايين سنة في مجرة مجاورة، مثل مجرة أندروميدا، ولكنه كان غائبا تماما عن مجرتنا. قد تكون هذه الكائنات الذكية قد نجحت في استعمار مجرة أندروميدا بأكملها، غير أن معالجة المشكلة التقنية للقفز إلى مجرة مجاورة سوف تكون شديدة الصعوبة حتى بالنسبة إليهم. ولما وجدوا أنهم أنفسهم لن يستطيعوا أبدا السفر لملايين السنين الضوئية في الفضاء من أندروميدا إلى مجرتنا، فلعلهم رأوا-مثلنا-أن البكتيريا تستطيع أن تمضي أبعد منهم، وهكذا أرسلوا سفينة فضاء مشحونة بالكائنات الدقيقة. صحيح أنه ليس من السهل معرفة طريقة بناء سفينة فضاء ملائمة لمثل هذه الرحلة الرهيبة إلا أن القول باستحالتها يعتبر تهورا، لأن التنبؤ بكل ما قد يظهره المستقبل من أوجه للتقدم التكنولوجي أمر صعب للغاية.

وإذا كانت البكتيريا كائنات نموذجية للسفر في الفضاء، فهل هناك من قصوى التسيير أو الدفع ما يصلح لها ولا يصلح لنا نحن البشر؟ هناك نوع واحد على الأقل. وربما كان أفضل مثال نسوقه هو ذلك الاقتراح الجديد تماما الذي قدمه موتنر Mautner وماتلوفت Matloft، وهو استخدام الشراع الشمسي المتطور في تزويد سفينة الفضاء بالطاقة. ويلزم أن تكون مساحة

مثل هذا الشراع واسعة، وأن يكون رقيقا جدا حتى يزيد ضغط شعاع الشمس عليه من قدرته على الانفلات من جاذبية الشمس. وقد قدر العالمان أن أشرعة لها كتلة تبالغ عشر المليجرام لكل سنتيمتر مربع (ومثل هذه المادة موجود بالفعل) ستكون من الرقة بحيث تسمح لسفينة الفضاء بالانفلات من الشمس، بل إن الأشرعة الأرق ستسمح بالانطلاق بشكل أسرع. غير أنه من الصعب أن نصل بهذه الأشرعة إلى سرعات عالية تبالغ، مثلا، واحدا من مائه من سرعة الضوء، وإن كان في مقدورها الوصول إلى سرعات تصل إلى ما بين واحد من عشرة آلاف إلى واحد من ألف من سرعة الضوء. ومثل هذه السرعات البطيئة نسبيا ستحد من مجال سفينة الفضاء بعض الشيء، فحتى إذا أخذنا سرعة 001, 0 من سرعة الضوء فإن الأمر سيحتاج إلى عشرة آلاف سنة لعبور مسافة عشر سنوات ضوئية لا أكثر. وهذا حد مقيد تماما، ولكن يجب مقابلته بالميزة الهائلة للاقتراح، وهي أنه من الممكن إتمام عملية الإبطاء المطلوبة في نهاية الرحلة عن طريق الأشرعة الشمسية دون قدر كبير من الوقود، إذ سيكون المطلوب منه قدرا ضئيلا جدا لدفع الحمولة من حزم البكتيريا الصغيرة في مداراتها ليصل بعض منها على الأقل إلى الكوكب الهدف.

وقد قدر العالمان أن حمولة نحو عشرة أطنان تحتاج إلى أشرعة نصف قطرها نحو 200 ياردة. وتفاصيل سفينة الفضاء هذه تختلف تماما عن الشكل التقليدي المعروف، ولكنها تعضد مرة أخرى أن البكتيريا تستطيع أن تمضي لمدى أبعد. والأغلب أن يكون هذا صحيحا أيا كانت طريقة الدفع، ومهما كان مدى الرحلة: مجرد عشر سنوات ضوئية بالشراع الشمسي، أو رحلة المليوني سنة ضوئية من الأندروميدا بعد التمكن من تكنولوجيا متقدمة جدا.

13 مقابلة بين النظرتين

تشير كل المناقشات السابقة إلى أن فكرة «البذور الكونية الموجهة» ليست صعبة، التصديق. وهذا يعني أن لدينا نوعين من النظريات حول منشأ الحياة على الأرض، وأنهما مختلفتان تماما. الأولى، وهي النظرية التقليدية، تقول إن الحياة كما نعرفها قد ابتدأت هنا مستقلة دون مساعدة-أو بمساعدة قليلة- من خارج نظامنا الشمسي. أما النظرية الثانية- نظرية البذور الكونية الموجهة-فتفترض أن بذور الحياة هنا جاءت من مكان آخر بهذا الكون، مكان هو بالتأكيد كوكب آخر، وصلت الحياة فيه إلى شكل متقدم للغاية قبل أن تبدأ على كوكبنا، وأن الحياة بذرتها كائنات دقيقة أرسلتها حضارة متقدمة في سفينة فضاء من نوع ما.

هاتان النظريتان مختلفتان اختلافا جذريا، ولكن المهم أن نسأل: هل يعني هذا الفارق شيئا؟ إن للكون في شكله الحالي بداية في الزمان-الانفجار الهائل- ولأن ظهور أي من أشكال الحياة في هذه الأزمان المبكرة كان مستحيلا، فلابد من أن تكون الحياة قد نشأت في مكان ما في زمن ما بعد حدوث الانفجار الهائل بفترة طويلة. قد نقول إن فكرة البذور الكونية الموجهة لا تفعل سوى أن تنقل المشكلة

إلى مكان آخر. وهذا صحيح جزئيا. ولكن معلوماتنا كلها تشير إلى أن موقع ظهور الحياة له أهميته الخاصة. فقد يتضح لنا في النهاية أنه من المستحيل أن تبدأ الحياة إطلاقا على الأرض. بينما يكون ظهورها أيسر إن ابتدأت على كوكب أكثر ملاءمة. بل ربما كان تطورها عليه أسرع. وقد يتضح أن قمرنا الفريد عامل معوق أكثر منه مزية مساعدة. وعلى هذا، فبالرغم من أننا لا نستطيع حتى الآن أن نقدم من الأسباب القوية ما يرجح معقولية أن يكون المنشأ في مكان آخر. فمن التسرع الفرض أن الظروف هنا كانت على نفس مستواها الطيب في أماكن أخرى. أما قضية إن كانت الحياة قد نشأت هنا أو في أي مكان آخر فهذا موضوع-في جوهره-تاريخي، وليس من حقنا-في هذه المرحلة-أن ننحيه جانبا بدعوى أنه لا يهم.

النظريتان إذا مختلفتان اختلافا جذريا، فهل نستطيع أن نقرر أيهما الأصح ؟ وعلى وجه الخصوص، هل نستطيع أن نجد دليلا مقنعا يعضد أو يرفض نظرية البذور الكونية الموجهة؟ هناك خط ممكن من البراهين مضمن داخل الكائنات الحية الموجودة الآن. فبالرغم من كل ما أنتجه التطور من الجزيئات الكثيرة المختلفة ومن التفاعلات الكيميائية، هناك ملامح معينة تبدو شائعة في كل الكائنات الحية. وبازدياد البيانات التي نجمعها من الكائنات الموجودة في زماننا هذا يغدو في إمكاننا ضم هذه البيانات في صورة أشجار لعائلات من جزيئات معينة-جزيئات رنا الناقل مثلا-على أمل أن نتمكن من استنباط طبيعة أجدادها القدامى، ولا يزال هذا العمل يجري الآن، ولكن هناك سمة معينة يبلغ من اطرادها ما يشد انتباهنا على الفور تلك هي الشفرة الوراثية (التي نفصلها في الملحق)، ذلك أننا إذا استثنينا الميتوكندريا فسنجد أن الشفرة الوراثية متطابقة في كل الكائنات الحية التي فحصت حتى الآن-وحتى بالنسبة للميتوكندريا فإن الفروق صغيرة للغاية. ولن يكون هذا مستغربا لو أننا وجدنا سببا تركيبيا واضحا لتفاصيل الشفرة الوراثية، لو كان محتما لأحماض أمينية معينة أن ترافق وحدات شفرية (كودونات) معينة لأن أشكالها مثلا تتوافق جيدا مع بعضها بعض. وقد أجريت محاولات جريئة لتفسير كيفية حدوث هذا، ولكن القول إن تفاصيل الشفرة نتجت أصلا من طريق الصدفة هو قول له درجة القبول نفسها، وحتى لو كان بعض الوحدت الشفرية قديما لم تمله الصدفة، وأن

به بعض المنطق الكيميائي، وحتى لو أمكن تفسير بعض الملامح العريضة للشفرة بطريقة ما، فلا يزال من غير المحتمل-على الأقل في الوقت الحالي- أن تكون كل تفاصيل الشفرة قد حددتها أسباب كيميائية بحتة. أما ما تقترحه الشفرة فهو أن الحياة-في إحدى مراحلها-قد مرت من عنق زجاجة واحد على الأقل: عشيرة صغيرة تتلاقح فيما بينها، ظهر عنها كل ما تلاها من حياة.

والآن، ليس هناك سبب قوي ينفي حدوث عنق الزجاجة هذا خلال المراحل الأولى للتطور على الأرض. وقد تكون لإحدى صور الشفرة ميزة تميزها كثيرا عن غيرها بحيث تمنح حامليها أفضلية انتخابية فوق منافسيهم، فبقيت وحدها واندثر كل ماعداها. ورغما عن ذلك فقد نعجب بعض الشيء من حقيقة عدم وجود أكثر من صورة للشفرة، وهي حقيقة تعضدها أيضا حقيقة أن الشفرات الميتوكندرية تختلف اختلافا طفيفا عن الشفرة العامة. غير أن الشفرة الوراثية المضبوطة لم تفحص عمدا إلا لعدد محدود فقط من الكائنات، فلأننا نتوقع أن تكون الشفرة واحدة دائما، فلن يهتم بفحص المشكلة إلا القليلون، وربما عثرنا على أشكال أخرى إذا ما أجريت فحوص إضافية. وإلى أن يحدث هذا فإن حقيقة تماثل الشفرة لا تقدم إلا قدرا يسيرا من التعضيد لنظرية البذور الكونية الموجهة.

هل هناك سمة أخرى من السمات الشائعة بين كل الكائنات الحية تجده غير طبيعية؟ في البحث الأصلي الذي نشرته مع أو رجل اقترحنا أن عنصر المولبدينم يوجد في الكائنات الحية بنسبة أعلى مما نتوقعه من قدر وجوده الطبيعي في الصخور. وقد أشار العديدون إلى أنه بالرغم من أن المولبدينم نادر في الصخور إلا أنه يوجد بشكل أوفر في مياه البحار. وقد دفع أو رجل بأن هذا صحيح بالنسبة للمحيطات الآن، ولكنه يستبعد وجوده بكل هذا القدر في محيط ما قبل-الحياة، ذلك لأن الظروف الأكثر اختزالا والتي كانت هي الشائعة في ذلك الوقت ربما جعلت أملاحه عندئذ أكثر ذوبانا. وحتى إذا قبلنا جدل أو رجل فلا بد من أن نعترف بأن التعضيد الذي يقدمه للبذور الكونية الموجهة سيكون ضعيفا حقا، وحتى إذا لم يكن هناك إلا قدر بسيط من المولبدينم في محيط ما قبل-الحياة، فربما كانت الكائنات الحية الأولى قد تعلمت أن تركزه داخل أجسامها بطريقة أو بأخرى.

ربما كانت المعالجة الفضلى هي أن نسأل عن السمات الخاصة التي نتوقع وجودها بسجل الحفريات إذا كانت البذور الكونية قد حدثت فعلا. إن الاختلاف الرئيس سيكون في ظهور الكائنات الحية الدقيقة هنا فجأة دون أي شواهد عن نظم قبل حياته أو كائنات حية أولية جدا. كما نتوقع أيضا أن يظهر أكثر من نوع واحد من الكائنات الدقيقة، أنواع عديدة متميزة وإن كانت تربطها قرابة بعيدة. وعلى وجه التخصيص، سيصعب تعقب أشكال سلفية وسطية، فالمفروض أن توجد هذه على الكوكب الوالد لا على الأرض. ومن بين هذه الأشكال المميزة، لن يكون من المستغرب أن نجد واحدا يشبه الطحالب الخضراء المزرقة، لأنها قد اقترحت-مستقلة-كمرشح جيد لكائن بدائي معقول.

والآن، ربما كان من العجيب أن يكون هذا كله من سمات السجل الحفري القديم، أو الأشجار التطورية القديمة التي يمكن استنباطها من دراسة الجزيئات الحالية. إن أقدم الحفريات المعروفة حتى ألان تشبه الطحالب الخضراء المزرقة فعلا، ويعود تاريخها إلى وقت مبكر نسبيا في تاريخ حياة الأرض، مبكر لدرجة نتعجب معها من وجود كائنات كهذه في هذه المرحلة مكتملة في أفضل تقويم. أما محاولات تعقب عائلات الأشجار الجزئية-في المرحلة الحالية-فيبدو أنها تقود إلى عدد من عائلات متفرقة يبعد كثيرا بعضها عن بعض. وعلى هذا يمكننا أن نقول إن هذه الشواهد لا تتعارض-على الأقل-مع «البذور الكونية الموجهة» وإنما تعضدها إلى حد ما.

غير أن الفحص الأدق لهذه البراهين يوضح للأسف أن هذا التعضيد ضعيف فعلا، فليس لدينا سلسلة كاملة تمثل الصخور الرسوبية خلال الفترة من 3,6 إلى 4,6 بليون سنة قبل زمننا الحاضر، وعلى هذا فليس من المستغرب أن تنقصنا الشواهد عن الصور الحية المبكرة. وربما أدهشنا ذلك الظهور السريع لنشوء الطحالب الخضراء المزرقة في التطور، ولكن ظهورها كان يتطلب بليون سنة ولأننا لا نمتلك طريقة مستقلة لحساب سرعة التطور قبل- الحياتي، فإن «دهشتنا» من ظهورها في ذلك الوقت المبكر إنما تعكس جهلنا مختلطا بتوقعاتنا السابقة (التي لا ترتكز على أسباب وجيهة) أن الكائنات الدقيقة قد ظهرت متأخرة. أما عائلات الأشجار الجزيئية-فبالرغم من أنها موحية-فهي لا تزال حتى الآن ناقصة ومقطعة

جدا بحيث لا تستطيع أن تقدم تعضيدا قويا لأي نظرية. مرة أخرى، إن كل ما يمكننا أن نقوله هو أن هذه البيانات لا تعارض «البذور الكونية الموجهة»، وإن كنا نستطيع أن نعتبرها موحية.

لابد إذا من أن ننظر للوجه الآخر من الجدل. هل هناك أسباب وجيهة لرفض «البذور الكونية الموجهة»؟ المؤكد أن هناك اتجاها أو اتجاهين للحوار قد سببا لنا الضيق.

واحد من هذين يختص بعمر النجوم التي تحوي وفرة معقولة من العناصر الثقيلة. لابد من أن يكون عمرها أقل من عمر الكون ببضعة ملايين من السنين. وهذا الرقم الأخير لا يزال حتى الآن موضع جدل، فإذا قدرت الدراسات في المستقبل الرقم الأقل للعمر فإن عمر النجوم الأكثر ملاءمة قد يكون مجرد ستة أو سبعة بلايين سنة، وهذا لن يترك إلا زمنا قصيرا لمنشأ وتطور الحضارة العليا المفترضة، تلك التي أرسلت الصاروخ، إلا مجرد بليونين أو ثلاثة بلايين من السنين. ولكننا نستطيع ببعض التأمل أن نرى أن هذا الجدل ليس مقنعا تماما. لماذا لا يكفي بليونان من السنين؟ لقد لاحظنا أن أطول مراحل التطور على الأرض كانت المرحلة التي شغلت بالكائنات الدقيقة وحدها، وهي فترة بلغت بليوني سنة أو أكثر. فإذا ما قصرت هذه الفترة على الكوكب الآخر إلى نصف بليون سنة مثلا، وإذا لم تكن المرحلة قبل-الحياتية طويلة جدا، عندئذ لن يكون مستحيلا أن يتطور شكل من الحياة العليا-من لا شئ-في ظرف مليوني عام. وبصورة أخرى، إذا كانت المراحل الأخيرة من التطور على الأرض-تلك التي يبينها السجل الحفري التقليدي من أقدم الكائنات التي تحوي أجزاء صلبة وحتى الإنسان-قد احتاجت 0,6 بليون سنة، فلماذا لا تكون المراحل الأولى-في ظروف ربما كانت أفضل-قد مضت بالسرعة نفسها؟ من الصعب إذا أن نرفض «البذور الكونية الموجهة» لهذا السبب، إلا إذا أمكن إثبات أن الشمس هي في حقيقة أمرها من أقدم نجوم الطراز المطلوب. والشواهد الحالية تقول إن هذا بعيد الاحتمال.

ربما كان أقوى الحجج ضد «البذور الكونية الموجهة» هو غياب كل أثر لحقيقة النوى في الصخور الأولى. فلو كنا نحن الذين سوف يرسلون كائنات دقيقة إلى كوكب بعيد فسنحاول بكل تأكيد أن نرسل نوعا أو نوعين مختارين

بعناية من حقيقية النوى في صحبة بعض آخر من بدائية النوى. ولابد من أن يتم الاختيار بعناية لأن كل الأنواع العديدة الموجودة على الأرض تستطيع أن تمثل غذاءها باستخدام الأكسيجين، وهي عملية أكثر كفاءة من طريقة التحليل الجليكولي (التخمري) التي يعالج بها الغذاء دون أكسيجين. ولكن هناك نسبة ضئيلة من حقيقية النوى الأرضية تستطيع أن تحيا دون أكسيجين، والخميرة هي أهم مثال. وبذا يبدو من المعقول بالنسبة لنا أن نطور كائنات خاصة حقيقية النوى تشتق من الموجود منها حاليا وتصمم خصيصا للمعيشة تحت الظروف قبل-الحياتية، لأننا حتى لو أرسلنا كائنا كالخميرة التي نعرفها فالأغلب أن يفقد بسرعة قدرته على استخدام الأكسيجين في بيئة لا تحوى إلا القليل، منه أو لاشى منه على الإطلاق. وللأسف فإن النزوع إلى فقد صفات أساسية نافعة ينسحب أيضا على خصائص أخرى لحقيقية النوى. وعلى سبيل المثال، فقد قيل إن السبب الرئيس لنجاح حقيقية النوى، وفي قدرتها على أن تتشعب إلى الكثير من الأنواع، يكمن في قدرتها على البلعمة، أي أكل كائنات أخرى، عادة أصغر منها، وهذا يجعل سلسلة الغذاء ممكنة ومعها الفرصة لتباين أكبر. ولكي يحدث هذا، فقد طورت حقيقية النوى تراكيب جزيئية عديد فريدة، مثل الأنيبيبات الدقيقة والأكتين والميوسين وغيرها، وكلها تساعد على الحركة وابتلاع كائنات أخرى. لكن في ظروف ما قبل-الحياة، لاسيما بعد العدوى بالبذور الكونية الموجهة، لم يكن من المحتمل أن يعج المحيط بالكائنات الدقيقة، وبذا قد لا يكون به من الغذاء ما يكفي عشائر كبيرة من الكائنات الحية، بل على العكس من ذلك نتوقع أن تكون الخلايا في هذه المراحل الأولى قليلة ومتباعدة، بحيث لا يجد الكائن الذي يأكل غيره من الكائنات إلا القليل منها، فتصبح هذه العملية مصدرا ثانويا للطعام. وربما استطاع الانتخاب الطبيعي عندئذ أن يستبعد من هذه الكائنات كل التركيبات الجزئية غير الضرورية، والتي كانت تكلفه طاقة لصنعها، وتدفعها بدلا من ذلك إلى التركيز على تطوير التركيبات التي تستطيع أن تستعمل الحساء بطريقة أفضل. أما الخصيصة الأخرى ذات الأهمية البالغة فهي التمثيل الضوئي، فلابد من أننا كنا سنرسل بعض الكائنات التي تقوم بهذه العملية المعقدة والمفيدة جدا، لأنه إذا ازدادت الطاقة التي تأخذها الخلية من الشمس، قل

ما تأخذه من الحساء. ولكن يبدو أن أقدم الخلايا الحفرية التي بين أيدينا هي من هذا النوع بالتحديد-الطحالب الخضراء المزرقة-مرة أخرى يبدو كما لو كان الجدل ضد«البذور الكونية الموجهة» ضعيفا، ويبدو أن الشواهد إن عضدت شيئا فإنما تعضد هذه الفكرة، وإن كان تعضيدها ضعيفا جدا.

نحن إذا في وضع غير مرض إطلاقا. لدينا نظريتان، تختلف كل منهما عن الأخرى كثيرا. ورغما عن ذلك هانحن لا نستطيع أن نقرر أيهما أكثر احتمالا من الأخرى، ناهيك عن أن نحدد بدقة أيهما الصحيحة. ما هذا؟ هل النظريتان قاصرتان بشكل ما؟ أم أن هذا الموضوع بالذات موضوع صعب ؟

يبدو أن هناك اعتراضين مختلفين ضد «البذور الكونية الموجهة»، اعتراضين متضادين تماما في طبيعتهما. أما الأول، الذي قالت به زوجتي أكثر من مرة، فهو أنها ليست نظرية حقيقية وأنها هي مجرد خيال علمي. وهي لم تقصد بهذا إطراء. وإن كان من الممكن أن يؤخذ هكذا. هناك حكاية تقول إن إحدى وكالات الاستخبارات جمعت مرة كوكبة من كبار العلماء، دون أن تذكر لهم سبب طلبهم، للمشورة. وعند بدء الاجتماع ذكرت الوكالة أنها تريد أن تعرف منهم ما يتوقعونه من تقدم علمي في المستقبل حتى تستعد للأثر المحتمل لما ينبثق منه من تكنولوجيا على المهمات المختلفة التي تقوم بها هذه الوكالة. عندئذ وقف عالم فيزيائي شهير وقال: انهم قد استضافوا المجموعة الخاطئة من الناس. قال: «كلنا من كبار العلماء، وهذا يجعلنا محافظين، لقد كان الأفضل أن تستشيروا كتاب الخيال العلمي. إنهم هم الذين يستطيعون رؤية ما يخبئه المستقبل بشكل أوضح كثيرا مما نستطيعه نحن».

وهناك شئ من الحقيقة في هذا، وإن كان يحتاج إلى بعض الغربلة لفصل البر عن التبن. فقدامى كتاب الخيال العلمي، مثل د. ج. ويلز وجول فيرن، لهم سجل مشرف، يصفون الرجال على القمر والغواصات.. . الخ. والعكس صحيح أيضا، فبعض كبار العلماء قد أذاع سلسلة من التعليقات الحمقاء عما لن يحدث. غير أن هذا كله لم يكن في ذهن زوجتي. إن ما كانت تعنيه هو أن الفكرة بها الكثير من زخرفة قص الخيال التقليدية-مثل وجود حضارة متقدمة في مكان ما بعيد، ومثل الصاروخ ذي القدرة الخارقة (رمز جنسي ؟) وحتى الكائنات الدقيقة النشيطة التي تنشر نفسها في

الأرض العذراء. كيف يمكن أن تؤخذ هذه المادة مأخذ الجد؟ إن الفكرة كلها تنبعث منها رائحة الأطباق الطائرة، وعربات الآلهة، وغيرها من الأشكال الشائعة من السخافات المعاصرة.

ولمواجهة هذا ليس لدى إلا أن أدعي أنه بالرغم من أن بالفكرة الكثير من خصائص الخيال العلمي، إلا أن قوامها أكثر متانة، إنها في الحق تفتقر إلى السمة الأساسية لمعظم الخيال العلمي، وهي القفزة الهائلة للخيال فوق قواعد علمية طائشة غير معقولة. إن كل التفاصيل المهمة للسيناريو المطلوب ترتكز على قاعدة صلبة من العلم المعاصر: عمر الكون، احتمال وجود الكواكب، تركيب المحيط قبل-الحياتي، صلابة البكتريا في الظروف غير الملائمة، وسهولة ازدهارها حيث يفنى الكثير غيرها من الكائنات، تصميم الصاروخ.. . الخ. إن الفكرة كلها، في الحقيقة، فكرة غير خيالية، ويمكن أن توصف بأنها نسيج من المعقولية.

وهذا يقودنا إلى الاعتراض الآخر: إن النظرية أبسط من أن تكون صحيحة، وأنها لا تحتاج سوى التكنولوجيا الموجودة لدينا الآن بجانب ما نتوقعه منطقيا من تطوير لها سنصله بعد بضع عشرات السنين. ومع ذلك فقد يقول الناقد: طالما أن هذه الحضارة المتقدمة المفترضة قد وصلت إلى المستوى الذي وصلناه الآن، فلا بد من أنها ستمضي إلى آماد أبعد وأبعد لتبلغ مستويات من العلم والتكنولوجيا لا يمكننا حتى أن نفكر فيها. وعلى هذا، أليس من الحماقة أن تمضى في هذا الجدل على أساس ما نعرفه الآن فقط ؟ أليس من الجائز أن يتضح في نهاية الأمر أنه خاطئ؟

لهذا الجدل قوته. ولكن من الممكن مواجهته ببضعة دفوع. أولا: أنني أسلم بأنني وأو رجل كنا نحاول أن نبنى نظرية علمية، وليس من العلم في شئ أن نلوح بأيدينا ثم ندعى أن كل شئ في نهاية الأمر جائز. أضف إلى ذلك أننا في الواقع لا نمتلك في الوقت الحالي التكنولوجيا التي تمكننا من أن نرسل البكتيريا إلى أي كوكب خارج النظام الشمسي، وإن كانت لدينا القاعدة الجيدة لمثل هذه التكنولوجيا كما أوضحنا. ولا تقتصر نظرية البذور الكونية الموجهة بالضرورة على المنجزات المباشرة التي وصفناها، فقد تقدم التكنولوجيا الجيدة إمكانات أكبر، أو على الأقل احتمال نجاح أكبر مما قد نتخيله في قرننا الحالي على الأقل. فإذا حصرت في ركن فإنني سأرفع

ثابتا شعارا: البكتيريا تستطيع أن تمضي لمدى أبعد، وأدعى- دون أن يؤنبني ضميري كثيرا-بالنسبة لما يخبؤه المستقبل، أدعى أنه أيا كانت التكنولوجيا التي ستبتكر فسيبقى هذا الشعار صحيحا. سيكون هناك دائما حد لا يمكن أن يتجاوزه إلا البكتيريا. وإلى هؤلاء الذين يقولون إن مثل هذه المشاريع ستكون بسيطة في القرون التالية: أسأل: «هل يستطيع صاروخكم أن يصل إلى أندروميدا؟ وإذا استطاع فماذا سترسلون فيه ؟».

يبدو لي أن كل هذا الجدل لن يؤدى إلى نتيجة لأنه لا يصل إلى لب الموضوع. إن ما يجب أن نركز عليه ليس نكهة الفكرة وإنما وضعها كنظرية علمية محترمة. فإذا فعلنا ذلك فسنقع على نواح من القصور جديدة.

أولها طبيعة الشواهد التي بنيت عليها النظرية، فمعظمها ليس أكثر من نقوش على خلفية. هناك جزء واحد فقط من الشواهد ربما الزمنا بوقفة جادة للتفكير. ذلك هو الانتشار الواسع للشفرة الوراثية، وإن كان هذا-كما رأينا-أبعد كثيرا من أن يكون موطدا راسخا. والمشكلة هي أنني مع أو رجل وقعنا أصلا على فكرة البذور الكونية الموجهة، ونحن نتعمق في هذه الحقيقة الغريبة. وهذا يعني أنه من الواجب تبعا للقواعد-على الأقل القواعد التي التزم بها-ألا أعطيها، إن أنا أعطيتها أي شئ، إلا وزنا قليلا عند اختبار النظرية. إن ما يميز النظرية الناجحة هو أنها تتنبأ تنبؤا بحقائق لم تكن معروفة عند وضعها. بل يا حبذا لو تنبأت بحقائق كانت معروفة بشكل خاطئ. وللنظرية الجيدة خصيصتان على الأقل: لابد من أن تكون متباينة تباينا واضحا مع فكرة بديلة على الأقل، وأن تقدم تنبؤات يمكن اختبارها. وهناك صفة ثالثة مرغوب فيها وهي أن تكون النظرية عميقة-نقصد أنه من الممكن تطبيقها على مدى واسع جدا من الملاحظات-وهذه الصفة لا يمكن تطبيقها هنا.

البذور الكونية الموجهة» تحقق المطلب الأول بلا جدال. فإذا ما أتينا إلى الثاني وقعنا في مشكلة. إن النظرية تقدم تنبؤا قويا حقا: أن يكون ظهور أول الكائنات بشكل فجائي دون ما أثر هنا على الأرض لأسلاف أبسط. وهناك تنبؤ آخر مقبول، وإن لم يكن أساسيا لنجاح النظرية: وهو ظهور أنماط متميزة من الكائنات الدقيقة متزامنة تقريبا. والواضح انه لو كان لدينا سجل حفري كامل عن أوائل الخلايا، إذا لحسم الأمر بطريقة أو بأخرى. النظرية إذا ليست فارغة تماما.

فالصعوبة الرئيسة إذا ليست في طبيعة النظرية، وإنما في الندرة البالغة للأدلة المتصلة بموضوعها. إننا لن نجد في هذه الحقبة من الزمن إلا القليل من الصخور الرسوبية التي لم تتلف بعد داخل التربة خلال تاريخها الطويل في قشرة الأرض. فإذا ما وجدنا مجموعة جيدة منها (والمتوقع أن نجد مع الوقت عينات أكثر مما لدينا الآن) فسيظل من الصعب أن نجمع ما يكفي للتأكد من عدم غياب أي أدلة جوهرية. وإذا عرفنا كم كان صعبا أن نقتفي بالتفصيل أثر التاريخ التطوري لحيوان كبير في حجم الإنسان الأول-وعهد تطوره، كما ندري، قريب على الخريطة الزمنية الجيولوجية-فسنجد أن مهمة اقتفاء أثر تطور الخلايا الأولى على الأرض مهمة رهيبة. ولا تشير البدائل الأخرى إلى أنها ستتقدم أكثر. إن الأمل في أن تحوى الأحياء «حفريات جزيئية» في بعض من جزيئاتها العملاقة أمل قائم، ولكن لابد من أن نكتشف منها ما هو مثير جدا قبل أن نحكم بين النظريتين بشكل قاطع. والشيء نفسه صحيح بالنسبة لتجارب محاكاة ما قبل الحياة. صحيح أن هناك خطين من الشواهد قد منحانا الأمل بسبب طبيعتهما الدرامية: هناك الطبيعة التكاملية لتركيبي الـ د ن أ والـ ر ن أ من ناحية، وهناك تجربة ميلر يورى من ناحية أخرى. كلاهما مثير حتى ليغدو من المستغرب ألا يكونا وثيقي الصلة بمنشأ الحياة. ولكن، هل ستجرى تجارب أخرى مشابهة؟ هل من الممكن تخليق البروتين-اليوم-في أنبوبة اختبار، دون أي ريبوسوم، إذا استخدمنا فقط ر ن ا الرسول ونوعا بدائيا من الـ ر ن ا الناقل محملا بالأحماض الأمينية؟ إذا نجح هذا فسيكون بحق إنجازا دراميا. هل يمكن حقا أن نصل إلى تخليق قبل-حياتي مقنع لـ رن ا من مكوناته الأولية، تخليق ينتج سلاسل لها طول كاف ودرجة معقولة من الدقة؟ حتى لو أمكننا أن نصنع هذا كله، فهل سيجعل ذلك فكرة نشأة الحياة على الأرض هنا مؤكدة لدرجة تصبح معها نظرية البذور الكونية الموجهة فكرة لالزوم لها؟

إن الاستحسان العقلي وحده لا يكفي للتحكيم بين نظريتين، هذا إذا غضضنا النظر عن أن الاستحسان عادة ما يكون ملوثا بتحيزاتنا الخفية. قد تبدو فكرة البذور الكونية الموجهة للوهلة الأولى بعيدة الاحتمال، ولكن، هل نستطيع أن نقدم أسبابا وجيهة لرد الفعل الأولى هذا؟ لقد علمتني ثلاثون سنة من العمل في البيولوجيا الجزيئية درسا هو أن الاستحسان

ليس كافيا. لا يكفي أن تضع المسمار على طرف ثم تدق عليه دقة خفيفة، لابد من أن تدق عليه بعنف حتى يدخل تماما. ولكي نعطي النظرية درجة الثقة المطلوبة، فلابد من أن ندق عليها جيدا، مرة بعد مرة. وهذا-واحسرتاه- هو بالضبط مالا نستطيع أن نفعله مع هذه النظرية بالتحديد. بعد كل مرة اكتب فيها بحثا في موضوع نشأة الحياة أحلف بأنني لن أعود للكتابة فيه مرة أخرى، ذلك أن فيه الكثير من التأمل يجري خلف القليل جدا من الحقائق. لكنني لابد من أن أعترف بأن الموضوع له بالرغم من كل شئ سحره، حتى ليبدو أنني لن أخلص لقسمي أبدا.

إن ألطف ما يمكن أن نقرره عن البذور الكونية الموجهة هو أن نسلم إذا بأنها نظرية علمية صحيحة حقا، غير أنها كنظرية مازالت في مرحلة ما قبل النضوج. وهذا يقودنا إلى السؤال: هل ستتضح يوما؟ هنا يجب أن نخطو في حذر. إن تاريخ العلم يبين أنه ما أسهل أن نقرر بأفضل التفسيرات العلمية-أن هذا أو ذاك لن يكتشف أبدا، أو أن هذا أو ذاك لن يحدث أبدا. «إننا لن نعرف أبدا مم تتكون الكواكب». «لن تظهر الطاقة النووية أبدا». «إن السفر في الفضاء هراء». والمدهش حقا هو قصر الفترة التي ثبت بعدها خطأ هذه التنبؤات السلبية. وأنا لا أقول إنني أعتقد أن كل شئ ممكن، ولكني أقول مثلا إن الصعود الذاتي في الهواء شئ مستبعد تماما*. وبغض النظر عن هذا الصعود الذاتي في الهواء (وهو، بالمناسبة، اختبار جيد لتمييز من لهم العقل العلمي عن غيرهم) فإننا نتنبأ بسهولة شديدة تنبؤات سلبية طائشة. وأنا لا أعرف كيف سيمكننا يوما أن نقرر الطريقة التي نشأت بها الحياة، ولكني أعتقد-على الأقل-أن الشواهد التي سنبني عليها مثل هذا القرار ستتزايد. أما متى يمكن أن تصل-إن كان لها أن تصل- إلى المستوى الذي نصبح فيه على ثقة من معرفتنا الإجابة، فهذا ما سيقوله المستقبل. وكل ما نستطيع أن نقوله هو أن هذه المشكلة والمشكلة المرتبطة بها عن وجود الحياة على عوالم أخرى، هي شئ هام بالنسبة لنا حتى ليصبح من سوء الحظ أن نفشل-على المدى الطويل-في أن نجد لها الحل.

* أعني بالصعود الذاتي في الهواء أن يقيم الفرد نفسه عامدا لدقيقة أو نحو ذلك في الهواء، فوق الأرض بمسافة، دون أن تساعده في ذلك آلة (وهذا يختلف عن التدرب على القفز في الهواء من وضع الجلوس على حشية بحيث يتخيل الفرد أنه يسبح في الهواء).

14 عودة للنظر في سؤال فيرمي

الآن، وبعد أن وضحنا ماهية البذور الكونية الموجهة، علينا أن نعود بإيجاز إلى سؤال فيرمي: إذا كانت هناك كائنات عاقلة في مكان ما بالمجرة، فلماذا لم يصلوا إلينا هنا؟

إن عدم وجود أي أثر لهم-هكذا يجادل ميكائيل هارت Michael Hart-إنما يعني ببساطة أننا وحدنا الصورة الوحيدة للحياة الراقية في هذه المجرة. إن النقطة الأساسية في جدله هي أنه إذا كان لهم وجود حقا فمن غير المعقول أن نتصورهم وقد توقفوا تماما عند مرحلتنا من التطور بعينها. وعلى هذا فالأغلب أن يتمكنوا من شكل متقدم جدا من التكنولوجيا، تكنولوجيا يعتقد هارت أنها تمكنهم من بناء سفن فضاء قادرة على السفر مسافات تبالغ عشرات السنين الضوئية، وتسير بسرعات تقارب 0,1 إلى 0,01 من سرعة الضوء إلى حيث ينشئون مستعمرات جديدة. وهم بهذه الطريقة يقفزون من كوكب إلى آخر، إلى أن ينتشروا في كل أرجاء المجرة.

أما الفترة التي يستغرقها هذا فتتوقف على عدد من العوامل-سرعة سفينة الفضاء، متوسط الزمن اللازم للتوطين، ما إذا كانوا سيتوسعون دائما

نحو الخارج أم سيتحركون في رحلاتهم المتعاقبة بطريقة عشوائية، ونحو ذلك. والنتيجة العجيبة لهذا هي أنه أيا كانت طريقتنا في حساب المعدل، فإن الزمن اللازم لتغطية المجرة بأكملها لن يكون بالطول الذي نتوقعه: فربما كان أقل من مليون سنة، وإن كانت تصل به بعض التقديرات إلى مائة مليون سنة. فإذا أخذنا في الاعتبار أن الحياة قد تكون قد نشأت مبكرة جدا عنها في الأرض، لأن كوكبنا قد ولد متأخرا نسبيا، فإن هارت يؤكد أنهم لابد من أن يكونوا قد وصلوا الأرض الآن.

ربما يلاحظ القارئ، بالنظر إلى مناقشاتنا السابقة بهذا الكتاب، أن هذا الجدل أبعد ما يكون عن الإحكام. فقد تتضح صعوبة صناعة سفن الفضاء التي تستطيع أن تحمل المسافرين إلى كواكب أخرى ملائمة تسمح بإقامة المستعمرات، وقد تكون هذه الصناعة صعبة لدرجة لا تتمكن معها بعض الحضارات على الإطلاق من إنشائها. وربما قد أرهقتهم التكنولوجيا حتى يتحولوا إلى وسيلة أخرى للحياة، نحو المتعة الكسول الفارغة-كما تنبأ لنا جونثر ستنت Gunther Stent-أو إلى تنمية طريقة حياة روحية خالصة، ربما تعضدها بعض العقاقير النفسية التي خلقت خصيصا لهذا الغرض. أو لعلهم قد دمروا أنفسهم عن طريق تكنولوجيتهم الذرية المتقدمة-كما يخشى علينا نحن. إن هذا ينطبق خاصة على تلك الحضارات التي لها من العدوانية ما يجعلها تفكر في غزو الفضاء. وحتى إذا لم تنحدر كل الحضارات المتقدمة إلى مثل هذه الطرق، ليتبقى منها فقط ما ينجح في بناء سفن فضاء ملائمة، فإن الخسارة لن تكون بسيطة.

فإذا ما وصلوا إلى كوكب جديد ووجدوا بيئته غير ملائمة فإنهم سيضطرون إلى تحويرها تماما لجعلها ملائمة لإقامتهم. فإذا احتاجوا إلى الأكسيجين-وهذا على ما يبدو محتمل جدا-فربما اضطروا إلى إقامة الزراعة في موطنهم الجديد بشكل مكثف لتوفير هذا الغاز. بل ربما كان عليهم أن يقوموا ببعض الهندسة الوراثية المتقدمة داخل سفينة الفضاء قبل أن ينجحوا في هذا التشجير، ذلك لأن خواص الغلاف الجوي للكوكب وصخوره قد لا تكون لتنمية النباتات التي استحضروها معهم. وهذا التحوير في البيئة قد يحتاج وقتا طويلا قد يتعرضون فيه إلى حادثة تهددهم بخطر حقيقي تندثر معه حياتهم تماما. وعلى العموم، لم تكن كل المستعمرات الأمريكية

الأولى مثلا ناجحة، فقد هجر البعض منها لسبب أو لآخر. وحتى لو أمكنهم في آخر الأمر النجاح في إقامة حضارة جديدة فإن نسلهم ربما فضل التريث فترة طويلة قبل أن يفكر في المجازفة مرة أخرى بمشروع الاستعمار التالي، بكل ما فيه من خطورة.

لكل هذه الأسباب، قد يكون هناك من التبديد ما يجعل من استمرار العملية أمرا صعبا. فلكي تنتشر الحياة بلا توقف فلا بد لكل حضارة من أن ترسل الكثير من الرحلات حتى تنجح على الأقل واحدة منها في الوقت المناسب، لترسل هي الأخرى رحلات مشابهة. باختصار، قد تكون هناك محاولات بذلت للانتشار في كل أرجاء المجرة، ولكنا لا نستطيع التأكد من أنها جميعا لم تخفق بعد خطواتها الأولى القليلة.

من ناحية أخرى، لو انهم قرروا-ربما كتدبير مؤقت-أن يجربوا البذور الكونية الموجهة، فأرسلوا كائنات دقيقة، إذا لصنعوا سفن فضاء في وقت مبكر من التقدم التكنولوجي قبل أن يدمروا أنفسهم أو يفقدوا اهتمامهم بالأمر، وسيكون لهذه السفن بالطبع مدى أطول كثيرا. غير أنهم ربما وجدوا أن زمن التوطين قد يصل عندئذ إلى بلايين السنين بدلا من الآلاف أو عشرات الآلاف عند إرسال المستعمرين من رجال الفضاء لاحتلال كوكب بأكمله. وطبيعي أنهم ربما كانوا قد اعتبروا أن البذور الكونية الموجهة طريقة مفيدة على المدى الطويل لإنتاج جو من الأكسيجين في الكثير من الأماكن التي قد ينتفع بها أحفادهم يوما ما.

وحتى لو قبلنا آلية هارت لاستعمار المجرات فسنجد الكثيرين منا يترددون في قبول رأيه القائل إننا وحدنا في هذه المجرة، ويفضلون الاعتقاد بانتشار كائنات حضارة عليا، وإن كنا لسبب أو لآخر لا نراها الآن. إن عدد الفلكيين المستعدين لتصديق وجود الأطباق والأجسام الطائرة عدد ضئيل، على الأقل لأن نسبة التقارير التي ثبت زيفها نسبة عالية جدا. صحيح أن هناك لا يزال بعض الملاحظات غير المفهومة، ولكن يثبطنا أن نعرف أنه عندما تزداد التقارير عن الأجسام الطائرة بسبب الخوف أو الترويج بوسائل الإعلام، يزداد أيضا عدد التقارير التي لم تجد لها تفسيرا، الشيء الذي يشير أيضا إلى أنها قد تكون بلا أهمية.

ومع ذلك ليس هناك أيضا ما ينفي الاحتمال بأن تكون الأرض قد

فحصت بصفة عابرة منذ زمن، قل مثلا منذ أربعة ملايين سنة، ثم أهملت لأنها غير ملائمة. ربما لم يشعر الزوار بأن كوكبنا يمكن أن يصبح ملائما لسكناهم، وربما سيطرت عليهم فكرة المحافظة على البيئة، ولم يرغبوا في إقلاق الكائنات المحلية من نبات وحيوان. وقد اقترح جون بول John Ball أننا قد نكون جزءا من حديقة كونية للحياة البرية تركت كي تتطور دون إقلاق. وربما كنا واقعين تحت نوع من المراقبة الخفية من كائنات أعلى على كوكب لنجم قريب. وليس من الواضح تماما كيف تستطيع هذه الكائنات الكونية أن تقوم بهذه المراقبة دون أن ندرك نحن وجودها، ولو أن المهمة قد تكون أسهل نسبيا في وجود تكنولوجيا أرقى. على أي حال، إننا نعلن الآن عن وجودنا عن طريق برامج التلفاز التي يمكنها أن تتسرب إلى الفضاء كضجة قصيرة الموجة تنتشر إلى الخارج بسرعة الضوء.

هناك اقتراح آخر على الأقل يقول إنهم ربما وصلوا إلى النظام الشمسي فعلا ولكنهم لم يروا زيارة الأرض. وقد اقترح ميكائيل باباجيانيس Michael Pagagiannis أنهم ربما يعيشون الآن على سفينة فضاء على الحزام النجيمي، مستخدمين ضوء الشمس كمصدر للطاقة، والنجيمات كخامات لعملياتهم الصناعية. ويعارض هذه الفكرة دافيد ستيفنسون David Stephenson الذي يرى أنهم يوجدون في مكان ما أبعد من ذلك، مختفين قرب مدار نبتون، ويغيرون منه من آن لآخر على النجيمات للحصول على المواد الكربونية. ويصعب علينا الآن أن نرصد أي سفينة فضاء حتى لو كانت ضخمة جدا إذا ما كانت على بعد مثل بعد مدار نبتون، بل حتى في الحزام النجيمي-لأن النجيمات ستعمل على إخفائها. وليس بين هذه الاقتراحات ما يمكن رفضه على أنه مستحيل، ولكنها جميعا تشبه الخيال العلمي-فالفروض متطرفة جدا، وسلاسل البراهين طويلة للغاية. ونحن لا نميل إلى تقبلها، على الأقل إلى أن نجد نوعا آخر من البراهين يعضدها.

ويوضح نقاشنا أنه إذا كان من الصعب جدا أن تبدأ الحياة، فإن ما يراه هارت من أننا نوجد وحدنا بهذه المجرة قد يكون صحيحا، بالرغم من أن أسبابه-كما لاحظنا-ليست مقنعة تماما.

ولو كان هناك حقا كائنات عاقلة في مجرتنا، ولو كانوا لسبب أو لآخر لم يغادروا كواكبهم، فربما حاولوا الاتصال بنا عن طريق إشارات من نوع

ما. ويصعب علينا أن نتوسع في هذا الموضوع المعقد هنا. إن إرسال الإشارات أسهل كثيرا جدا جدا من إرسال الصواريخ، ولكن هناك صعوبات تكتنفها هي الأخرى: ما هو طول الموجة الذي يستخدم ؟ هل يرسل الإشعاع في كل الاتجاهات أم في شكل شعاع ضيق يمكن أن يمضى إلى مدى أبعد؟ وإذا كان الأمر كذلك، ففي أي اتجاه يرسل ؟ وماذا يرسل ؟ إن الأرقام الأولية تعتبر إشارات تعريف مفضلة، لأنها واحدة في كل مكان، مثل معظم الرياضيات والفيزياء والكيمياء. أما المواضيع الأدبية-مثل الآداب والتاريخ- فالأغلب للأسف ألا تفهمها أي حضارة مختلفة، على الأقل عند أول اتصال بها. إنه لأمر مشكوك فيه أن تكون موسيقاهم مشابهة لموسيقانا.

وحتى لو وجدت حضارات كثيرة في المجرة، فليس من الخطأ الاستنباط بأنها سترسل إشارات في الفضاء. فهل نبعث نحن برسائل مماثلة ؟ يقول تومي جولد Tommy Gold إننا إذا كنا عاقلين فالأفضل أن نصمت. ربما كان الجميع ينصتون ولا أحد يتكلم. كانت هناك محاولات متواضعة للإنصات لمثل هذه الإشارات في كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي، ولكن دون نجاح-حتى الآن-وأيا كان رأينا بالنسبة لاحتمال وجود الحياة في المجرة، فإن برنامجا قليل التكاليف للإنصات إلى مثل هذه الإشارات المحتملة يبدو معقولا جدا، لاسيما أننا قد نجمع منه بعض المعارف الفلكية كنواتج ثانوية.

إن سؤال فيرقي يحتاج في آخر الأمر إلى جواب. فإذا ما قدرنا مدى وطبيعة المجرة حق قدرهما، فلن نطيق أن نقعد دون أن نعرف ما إذا كان الإنسان هو ساكنها الأوحد. بل قد يكون من الخطر جدا ألا نفعل هذا. وإذا كان لجدلنا في هذا الكتاب أن يبين شيئا فهو أن حسم الأمر بطريقة أو بأخرى لن يكون أمرا ميسورا، وسيبقى تحديا كبيرا لعلمنا وتكنولوجيتا، لنا ولأحفادنا من بعدنا.

15 لماذا يجب أن نولي الأمر اهتمامنا ؟

وعند هذه النقطة قد يشعر القارئ أنه قد خدع قليلا . فإذا كانت الحياة قد بدأت منذ ذلك الزمن السحيق، وإذا كان من الصعب أن نكتشف كيف حدث ذلك بالضبط، فلماذا نولي الأمر اهتمامنا؟ سيقول الرجال العاديون والنساء-منشغلين بأمور حياتهم اليومية-إنه أيا كانت النتيجة فإن القضية لا تعنيهم على الإطلاق.

إنني أعتقد أن هذه النظرة مضللة لسببين: أحدهما خاص والآخر عام. فإذا سمح لي بأن أوضح وجهة نظري، فدعنا نفترض أن نشأة نظام ذاتي التكاثر بالشكل الملائم لمكونات الأرض البدائية ليست-كما كنا نخشى-بالعملية المستحيلة، إنما هي على العكس أمر سهل نسبيا . وقد يتضح أن اختبارا عبقريا للمكونات والظروف سيتسبب في نشأة نظام حياة في المعمل خلال وقت قصير نسبيا نحو سنة أو حتى أقل من ذلك. ويصعب تصور ألا يكون لمثل هذا الاكتشاف أثره الهائل على كل مثقف، والشباب منهم على وجه الخصوص. إن الأثر النفسي لتمكننا من أن نوضح بطريقة مخططة شيئا بالفعل يحدث،

قد يكون مذهلا. انظر إلى تغير نظرة الناس لكوكبهم عندما شاهدوا الصور الفوتوغرافية التي التقطت للأرض من الفضاء، ولو أنني أشك في أن يكون لأي تجربة معملية نفس الأثر الساحر لصورة كرتنا الأرضية الجميلة معلقة في الفضاء وقد زينتها السحب.

إن التجارب التي يمكن تكرارها، والتي توضح إمكانية أن ينشأ نظام حي بدائي من مجرد مواد كيميائية غير حية، قد تقوي شعورنا بوحدتنا مع الطبيعة في معناها الأوسع، نعني مع الذرات والجزيئات التي تتكون منها كل المواد على الأرض، أما أن يكون لمثل هذا الاكتشاف أي نتائج «عملية» فإنني لا أعرف حقا-أقصد نوع النتائج التي يعشقها رجال البرلمان أو رجال الأعمال (بالمناسبة، ما هي القيمة العملية لمباراة في كرة القدم ؟) والتي تشير إليها أسئلة مثل: هل يمكن أن تشفى علة؟ هل سنجني من ورائها كسبا؟-وإن كان البعض القليل من الاكتشافات العلمية الأساسية يفتقر إلى أي نوع من أنواع التطبيق العملي.

ولكن القارئ الناقد قد يقول: إنك بكل تأكيد لن تتمكن من استخدام هذا الجدل، لأنه من المحتمل جدا-بل ربما كان الاحتمال الأكبر ألا نستطيع إنجاز هذا التوضيح التجريبي في المستقبل القريب. إن الأساس الكيماوي للحياة قد يكون حادثة نادرة للغاية، وقد يكون له من المراوغة ما لا يجعله ممكن التكرار هنا والآن، لاسيما إذا وضعنا في الاعتبار المجهود العلمي المتواضع الذي نوليه المشكلة في أيامنا هذه.

ولمثل هذا الجدل لا يمكنني إلا أن أقدم دفعا عاما جدا، وسأعتمد على الوضع الرائع الذي وجد الجنس البشري فيه نفسه بعد خمسة أو عشرة آلاف سنة من الحضارة. إن الحضارة الغربية التي ترعرع تحتها معظم العلماء الأحياء قد نشأت أصلا على معتقدات دينية وفلسفية متينة. ومن بين هذه المعتقدات يمكن أن نضمن فكرة أن الأرض هي مركز الكون، وأن الحياة قد نشأت منذ زمن ليس نسبيا بالبعيد، وكذا الاعتقاد بالتميز الأساسي بين الروح والمادة، والإيمان بوجود حياة بعد الموت.

إن الشيء المميز للحضارة الغربية في شكلها العريض هو أنه بالرغم من بقاء الكثيرين يعتنقون هذه العقائد، فسنجد لمعظم العلماء المحدثين نظرة مختلفة بالنسبة للحياة: الطبيعة المضبوطة للمادة والضوء والقوانين التي

تحكمها، حجم الكون وطبيعته العامة، حقيقة التطور وأهمية الانتخاب الطبيعي، الأساس الكيميائي للحياة وبالذات طبيعة المادة الوراثية، وغير هذا كثير. ويرتبط البعض من هذه النظريات بأسماء شخصيات علمية كبيرة، مثل نيوتن وداروين وأينشتين. ولهؤلاء تقديرهم العالمي، وإن كنا لا نأخذ آراءهم كشيء لا يقبل النقد، لا ولا نعتبر حياتهم جديرة بالتمجيد. إننا نقدر أعمالهم فقط.

والعالم الحديث - إذا كان لديه من البصيرة ما يكفي-عادة ما يتملكه شعور غريب بأنه يحيا في حضارة أخرى، هو يعرف الكثير ولكنه يدرك بصورة حادة حجما مازال مجهولا ينتظر الاكتشاف. إنه يشعر شعورا حميما بضرورة تفهم هذه الأسرار الهائلة، كما يعرف أنه بالمجهود والمال يستطيع مع الوقت تحقيق ذلك، مما يجعل حاجته إليه تبدو ملحة لاسيما انه لا يقبل إلا الإجابات التي يعضدها العلم.

هو لن يجد إلا القليل من العداء السافر لوجهة نظره، فمعظم الناس يهتمون اهتماما بالغا باكتشافات العلم الحديث ولكن تسيطر عليهم فكرة «أن العلماء لا يعرفون كل شئ». والعلماء يعرفون بمرارة أنهم لا يعرفون كل شئ، ولكنهم يعتقدون أنهم عادة ما يستطيعون تمييز العبث إذا ما قابلوه.

ولم يعرف الناس التضمينات العديدة لفكرة أن الإنسان حيوان بيولوجي تطور أساسا عن طريق الانتخاب الطبيعي إلا في العقدين الأخيرين. والآن يعالج بعض قليل جدا من أساتذة الأخلاق الموضوع من وجهة النظر هذه. ويندر أن نجد من يسأل نفسه- عندما يلحظ الصلة الوثيقة بين الجمهور والرياضة المنظمة - لماذا يسلك الكثيرون هذا السلوك الغريب، بل إن القليل الأقل من يتعجب إذا ما كان الحماس الواسع لكرة القدم هو نتيجة الزمن الطويل الذي أنفت أجدادنا في الحروب بين القبائل.

إن الحقيقة الواضحة هي أن الكثير من أساطير الماضي، التي اعتبرها أجدادنا حقائق حية، قد تحطمت، غير أن معظم الناس لا يزالون ينعمون بجهلهم هذا.

بهذه الخلفية يجب أن نعالج منشأ الحياة. عندئذ سنرى أنها في الحق واحد من الأسرار الهائلة التي تواجهنا عندما نحاول استكشاف الطريقة التي صمم بها العالم ثم-بالتحديد-أن نميز مكاننا بداخله. إنها مشكلة تقف ندا للمشاكل الأساسية الأخرى التي صاغها الإغريق في وضوح: طبيعة

المادة والضوء، منشأ الكون، منشأ الإنسان، وطبيعة الوعي والروح. وإهمال هذه المواضيع لا يعني فعلا إلا الجهل، لاسيما أن لدينا الآن الأمل في الإجابة عنها بطرائق كانت تبدو من المعجزات حتى عهد قريب، حتى عهد شكسبير.

كلما أن منشأ الحياة يرتبط أيضا بسؤال مهم آخر مررنا عليه مر الكرام في هذا الكتاب: هل نحن وحدنا في هذا الكون ؟ ومناقشة هذه القضية بالتفصيل هنا ستأخذنا بعيدا عن موضوعنا لأن هناك نواحي أخرى له يجب معالجتها-مثلا، تحديد الطريقة التي ترسل بها أو تستقبل الإشارات عبر المسافات الرهيبة. وعدم استطاعتنا تقدير ما إذا كان منشأ الحياة أمرا نادرا جدا أم أنه أمر شائع جدا، هو السبب الجوهري في أنه لم يحن بعد الوقت الذي نستطيع فيه أن نحكم قبضتنا على قضية وجود كائنات أخرى عاقلة في الفضاء. لاحظ أنه لو قامت حضارة مبكرة بإرسال كائنات دقيقة إلى هنا في صاروخ، فالأغلب أنها قد نشرت كثيرا من الصواريخ، بعضها إلى نجوم غير الشمس قريبة منها. وهذا قد يعني أنه حتى لو كانت الحياة في المجرة نادرة للغاية، فسيوجد بالرغم من ذلك بضعة كواكب أخرى وصلتها الحياة منذ أربعة بلايين عام أو نحو ذلك. والأرجح أن تلك الكواكب قد أصبحت شديدة البعد عنا بسبب الحركة الانتشارية للنجوم أثناء دورانها البطيء حول مركز المجرة. وهذا يعني أنه حتى لو كانت الحياة في مثل هذه الأماكن قد وصلت الآن مرحلة عالية من التطور فستكون بعيدة لدرجة يصعب معها أن نتصل بها بسهولة في وقتنا الحالي.

ولا نحتاج إلى الكثير من الخيال كي نعرف الإثارة التي قد تحدث لو وصلتنا رسالة موثوق بها من حضارة أخرى. ولكن، لأن هذا الحدث يبدو بعيدا فلن نجد من يؤرقه هذا الأمر. ولكن الأجيال القادمة قد يكون لها رأي آخر، فبتوفر الأجهزة الأكثر تطورا قد يفكرون في غزو الفضاء محاولين معرفة ما فيه، وما إذا كان به أي أثر لحياة من أي شكل، وفوق كل هذا، كيف يستكشفون هذا الكون الكبير الفارغ الذي نراه من حولنا.

خاتمه

هل علينا أن نغزو المجرة ؟

بقى موضوع واحد. فإنه حتى لو اتضح أننا لن نتأكد أبدا من الطريقة التي نشأت فيها الحياة على الأرض، فسنظل نواجه في المستقبل بالسؤال العملي: هل علينا أن نحاول أن نجعل صورتنا من الحياة تبدأ في مكان آخر من الكون ؟ وإذا كان الجواب بالإيجاب، فكيف نفعل ذلك ؟

ناقشنا بالفعل الكثير من هذه المواضيع في الفصل الثامن. إننا نتوقع عندئذ (إذا لم نكن قد دمرنا أنفسنا بحماقتنا) أن نتمكن من أن نقرر ما إذا كان لأقرب النجوم كواكب، ربما بوضع أجهزة جديدة معقدة فوق سطح القمر، بل ربما عرفنا بالتقريب كيف نشأ النظام الشمسي، باستخدام الاستكشافات الموسعة للكواكب الأخرى، وللحزام النجيمي والمذنبات.. . الخ. وقد يمكننا هذا من معرفة أي الكواكب يحتمل أن تكون له بيئة ملائمة معقولة. وربما نتوقع أن يتحسن تصميم الصواريخ إلى حد بعيد، بحيث يمكن إرسالها إلى مسافات بعيدة جدا، وأن تعمل بطريقة موثوق بها فترات أطول، حتى لو لم تصل إلى سرعة الضوء.

إذا ما توافر لنا هذا كله، فماذا سنفعل ؟ ربما كان أبسط ما نفعله هو أن نحاول ما سبق أن فعلناه

عند غزو المريخ: وهو ألا نرسل بشرا-على الأقل في المراحل الأولى-بل نرسل معدات يمكنها أن ترسل لنا ما نريد. ولكن هذا المطلب البسيط الواضح يبدو من الناحية التكنولوجية أبعد كثيرا مما نستطيعه الآن. إنه يحتاج أعمالا جساما في الهندسة تمكننا من أن نوصل سفينة الفضاء بسلام إلى المدار الصحيح لاسيما بعد هذه الرحلة الطويلة بهذا البعد. وسيكون استشعار السفينة في مدارها هذا أقل كثيرا منه إذا ما هبطت على سطح الكوكب الجامد (إن كان له مثل هذا السطح)، ولكن توصيلها إلى هذا السطح-على آي حال-سيحتاج إلى تكنولوجيا أكثر تقدما. ويمكن حل بعض هذه المشاكل إذا أمكن إرسال آدميين في هذه المهمات. غير أن هذا يثير مجموعة جديدة كاملة من المشاكل، ليس أقلها كيف نتأكد من عودة هؤلاء أحياء إلينا؟ أما احتمالات أن ينشئوا هناك مستعمرة تحت الظروف غير الملائمة إطلاقا وأنتي نتوقع أن توجد هناك، أو أن يتمكنوا من رحلة العودة ليرجعوا إلينا أحياء، فهي احتمالات ضعيفة جدا. ومن السخرية-كما يقون تومي جولد-أن تكون أكثر النتائج احتمالا-إذا ما وصلوا هناك على الإطلاق-هي أن تصل بعض البكتيريا التي يحملونها معهم إلى المحيط البدائي، لتبقى وتتكاثر وتعيش طويلا بعد أن يموت رواد الفضاء. وإذا كان الأمر كذلك، فلماذا لا نرسل البكتيريا فقط ؟ إذا وافقنا على هذا الرأي أصبحت كل مشاكل التصميم على الفور أبسط، كما سبق أن بينا في فصول سابقة. أن تصورنا لما سيكون علينا أن نفعله إذا غزونا الفضاء واستعمرناه في المستقبل لهو أفضل تدريب ذهني لتعضيد فكرة البذور الكونية الموجهة.

ولكن لاحظ أننا في حماسنا لتلويث جيراننا من الكواكب قد أهملنا أحد التفصيلات الدقيقة. ماذا لو كان الكوكب الذي اخترناه قد طور بالفعل شكلا آخر من أشكال الحياة؟ إننا لا نستطيع أن نعرف هل سيعتقد أحفادنا أن الحياة شائعة جدا في الكون أم نادرة للغاية فيه. إننا لا نستطيع حتى أن نقيم مدى صحة تخمينهم. يبدو أن التكنولوجيا التي ستحسم قضية وجود كواكب للنجوم القريبة وكذا أحوال هذه الكواكب بشكل عام، ليست بعيدة المنال، أما التكنولوجيا التي نعرف بها وجود الحياة على الكواكب-بشكل أو بآخر فيبدو أنها لن تتحقق إلا في المستقبل البعيد. ويمكننا أن نلحظ هذه

المشاكل في صورة مبسطة إذا ما حاولنا اكتشاف وجود الحياة على سطح الكواكب أو الأقمار الموجودة في نظامنا الشمسي. إن أفضل ما وصلنا من الشواهد كان من الأجرام السماوية التي هبط عليها صاروخ. إن الدافع لاستكشاف الفضاء سيصل على ما يبدو إلى مستوى عال قبل أن نعرف ما إذا كان الكوكب الذي نود استكشافه يقيم أي شكل من أشكال الحياة.

ويصعب أن نعرف النتيجة المتوقعة لمثل هذا الوضع. سيواجه أحفادنا بمشاكل جديدة حقا في الأخلاقيات الكونية. فهل لنا كمخلوقات متطورة جدا أن نقلق الإيكولوجيا الهشة لكوكب آخر؟ هل علينا أن احترم الحياة أيا كان شكلها؟ إن لدينا معضلات مشابهة على الأرض-كما سيحدثك أي نباتي- إن القليل فقط من البشر سيحترمون حق فيروسات الجدري في البقاء حية.

وربما حدث انقسام كبير في الرأي بين أحفادنا، ولو أني أظن أن أكلة اللحوم هم من سيشجعون استكشاف الفضاء، وأن يكون النباتيون هم من يعارضونه.

ربما كان لي أن أقول بالمناسبة إنني لا أظن أن هذه المخاوف تنطبق على سفن الفضاء التي نرسلها في الوقت الحالي خارج النظام الشمسي، فحتى لو حملت معها بعض البكتيريا، فإن هذا العدد القليل من الكائنات الدقيقة لن يتمكن في الأغلب من أن يمر سليما خلال رحلة الفضاء أو العبور إلى نظام شمسي آخر. إن فرصة تلويثها لكوكب آخر لهي من الضآلة بحيث يصبح من الغباء أن نهتم بها.

هناك مطلب واضح هو ألا نندفع في هذا الموضوع. فإذا كان أمامنا-لا يزال-الآلاف من السنين، إن حالفنا الحظ، وإذا كنا مع الزمن سنعرف أكثر ونصبح أكثر قدرة على معالجة مهمات أكثر صعوبة، ففيم العجلة؟ ولكن، حتى هذه الحجة تفترض أن العالم سيظل ثابتا سياسيا فترة غير محدودة. أما إذا لم يكن الأمر كذلك، فسيكون هناك بالتأكيد ضغط من مجموعات قوية تريد القيام بالمهمة، قبل أن تظهر ظروف تمنع إنجازها. إنني أكره أن نضغط بعنف طالما كان الانتظار ممكنا. لا يجب أن نلوث مجرتنا هكذا بلامبالاة.

ملحق

الشفرة الوراثية

الشفرة الوراثية هي القاموس الصغير الذي يربط لغة الأحماض النووية ذات الحروف الأربعة بلغة البروتينات ذات الحروف العشرين. فكل ثلاثية من ثلاثيات القواعد تقابل حمضا أمينيا معينا، فيما عدا ثلاث ثلاثيات تشير إلى انتهاء السلسلة البوليببتيدية. نظمت الشفرة في شكل نموذجي موضح في صفحة مستقلة*. وربما احتاج فهمه لحظة أو لحظتين بسبب استخدامه الاختصارات: القواعد الأربع لـ رن ا الرسول يشار إليها بالحروف الأولى فيها، ى = يوارسيل، س = سيتوسين، أ = أدينين، ج = جوانين. وكل من الأحماض الأمينية العشرين يمثله حرفان أو ثلاثة أو أربعة، عادة الحروف الأولى من اسمه. وعلى هذا فإن جلا = جلايسين، فينا = الفينايل ألانين.

وعلى سبيل المثال، خذ الركن الأيمن الأعلى من الشفرة. هنا سنجد أن كلا من ى ى ى، ى ى س تشفر للفينايل ألانين، لأن «فينا» مكتوبة في هذا الموقع. أما في الركن الأيسر السفلي فسنجد أن الجلايسين (جلا) يشفر له كل من أربع ثلاثيات تبتدئ جميعا ب «ج ج»، هي ج ج ى، ج ج س، ج ج ا، ج ج ج. ولمعظم الأحماض الأمينية

* قد رأينا أن نضيف هذا الجدول برموزه الأجنبية المستخدمة عالميا، استكمالا للفائدة. [المراجع]

مدة «كودونات»-كما تسمى هذه الثلاثيات-ولكن التربتوفين له كودون واحد فقط (ى ى ج)، وكذا الميثايونين (أ ى ج).

الشفرة الوراثية

الثانية / الأولى	ى	س	أ	ج	الثالثة
	فينا	سير	تير	سيس	ى
ى	فينا	سير	تير	سيس	س
	ليو	سير	**قف**	**قف**	ا
	ليو	سير	**قف**	ترب	ج
	ليو	برو	هس	أرج	ى
س	ليو	برو	هس	أرج	س
	ليو	برو	جلن	أرج	ا
	ليو	برو	جلن	أرج	ج
	أيزو	ثر	أسن	سير	ى
أ	أيزو	ثر	أسن	سير	س
	أيزو	ثر	لاى	أرج	ا
	ميثا	ثر	لاى	أرج	ج
	فا	ألا	أسب	جلا	ى
	فا	ألا	أسب	جلا	س
ج	فا	ألا	جلو	جلا	ا
	فا	ألا	جلو	جلا	ج

ونورد فيما يلي أسماء الأحماض الأمينية العشرين ، وما وضعنا لها من رموز مختصرة :

١ أرج : أرجنين
٢ أسب : حامض أسباراتيك
٣ أسن : أسباراجين
٤ ألا : ألانين
٥ أيزو : أيزوليوسين
٦ بور : برولانين
٧ ترب : تربتوفين

٨ تير : تيروسين
٩ ثر : ثرايونين
١٠ جلا : جلايسين
١١ جلن : جلوتامين
١٢ جلو: حامض جلوتاميك
١٣ سير : سيريب
١٤ سيس : سيستين

١٥ فا : فالينين
١٦ فينا : فينايل ألانين
١٧ لاي : لايسين
١٨ ليو : ليوسين
١٩ ميثا : ميثايونين
٢٠ هس : هستين

قف : تشير إلى الثلاثيات التي تستطيع أن تنهي السلسلة البوليببتيدية .

THE GENETIC CODE

1st↓ 2nd →	U	C	A	G	↓ 3rd
U	PHE	SER	TYR	CYS	U
	PHE	SER	TYR	CYS	C
	LEU	SER	STOP	STOP	A
	LEU	SER	STOP	TRP	G
C	LEU	PRO	HIS	ARG	U
	LEU	PRO	HIS	ARG	C
	LEU	PRO	GLN	ARG	A
	LEU	PRO	GLN	ARG	G
A	ILEU	THR	ASN	SER	U
	ILEU	THR	ASN	SER	C
	ILEU	THR	LYS	ARG	A
	MET	THR	LYS	ARG	G
G	VAL	ALA	ASP	GLY	U
	VAL	ALA	ASP	GLY	C
	VAL	ALA	GLU	GLY	A
	VAL	ALA	GLU	GLY	G

The name of the twenty amino acids and their abbreviations are:

ALA – Alamine
ARG – Arginine
ASN – Asparigine
ASP – Aspartic acid
CYS – Cysteine
GLN – Glutamine
GLU – Glutamic Acid
GLY – Glycine
HIS – Histidine
ILEU – Isoleucine
LEU – Leucine
LYS – Lysine
MET – Methionine
PHE – Phenylalanine
PRO – Proline
SER – Serine
THR – Threonine
TRP – Tryptophan
TYR – Tyrosine
VAL – Valine

The abbreviation STOP shows the three triplets which can terminate the polypeptide chain.

ولعل من الغريب أن الثلاثية أي ج هي أيضا جزء من الإشارة «ابدأ السلسلة»، لأن كل السلاسل تبتدئ بالميثايونين أو بقريب لصيق له. وهذا الحمض الأميني الابتدائي عادة ما يبتر قبل أن ينتهي بناء البروتين.

والشفرة التي نقدمها هنا هي الشفرة النموذجية التي تستخدمها الغالبية العظمى من نظم تخليق البروتينيات الموجودة في الحيوان والنباتات والكائنات الدقيقة. وهذه الخريطة لا تعكس حقيقة ظهور بعض التحويرات الصغيرة مؤخرا. وحسب هذه المعلومات الجديدة، فإن الجينات داخل ميتوكوندريا الإنسان تستخدم كلا من ى ج أ، ى ج ج للتربتوفين، أما أي أ فتشفر للمثايونين بدلا من الأبروليوسين، وعلى هذا فكل الأحماض الأمينية يشفر لها في ميتوكندريا الإنسان كل ت طريق ثلاثيتين على الأقل. وهناك أربع شفرات «للتوقف» بدلا من الثلاث المفترضة (ي ج أ أصبح يشفر الآن للتربتوفين) لأن أج أ، أج ج يشفران أيضا للتوقف بدلا من الأرجنين.

وهناك أنواع أخرى من الميتوكندريا-مثل ميتوكندريا الخميرة-مشابهة لهذا، وإن كانت انحرافاتها عن الشفرة النموذجية ليست بالضبط كما هي في ميتوكندريا الإنسان.

ر ن أ والشفرة الوراثية:

الـ ر ن أ يشبه الـ دن ا كثيرا وفيه يستبدل بسكر الديؤكسي ريبوز في الـ دن ا سكر الريبوز العادي وفيه مجموعة-H بدلا من مجموعة- HO . وهناك ثلاث من القواعد الأربع (أ، ج، س) مطابقة لمثيلاتها في دن ا، أما الرابعة (اليوارسيل: ى) فهي قريبة لصيقة يالثايمين (ث) في دن ا، لأن الثايمين هو مجرد يوراسيل له مجموعة-CH3 بدلا من مجموعة-H، وليس لهذا إلا أثر قليل في اقتران القواعد. فالقاعدة ى يمكنها أن تقترن مع أ، تماما كما تقترن ث في دن ا مع أ. ويمكن أن يوصف رن ا بأنه يستخدم لغة دن ا إنما بلهجة مختلفة. ويمكن للـ رن ا أن يكون لولبا مزدوجا يشبه، ولكن لا يطابق، لولب الـ دن ا المزدوج، كما يمكنه أيضا أن يشكل لولبا مزدوجا هجينا إحدى سلسلتيه رن ا والأخرى دن ا. وعلى العموم فيندر وجود لولب طويل من رن ا. وجزيئات رن ا النموذجية وحيدة اللولب، ولو أنها كثيرا ما تطوى على نفسها لتكون مقاطع قصيرة من لولب مزدوج.

والـ رن ا في الكائنات الحديثة يستخدم لأغراض ثلاثة. ففي البعض

القليل من الفيروسات الصغيرة، مثل فيروس شلل الأطفال، يستخدم الـ رن ا مادة للوراثة، وبعض يستخدمه في صورة خيط واحد والقليل يستخدمه في شكل لولب مزدوج. كما يستخدم رن ا أيضا في أغراض التخليق والبناء، فالريبوسومات-وهي المواقع الحقيقية لتخليق البروتين-عبارة عن تجمع مركب من جزيئات عملاقة، تصنع من بضعة جزيئات رن ا تركيبية، يساعدها بضع عشرات من جزيئات بروتين مميزة. كما أن الجزيئات التي تعمل كسطح بيني للأحماض الأمينية، وكذا قواعد الثلاثيات المرتبطة بها، كلها مصنوعة أيضا من رن ا. وهذه العائلة من جزيئات رن ا-والتي تسمى رن ا الناقل-تستخدم في نقل كل حمض أميني إلى ريبوسوم، حيث يمكن إضافتها إلى سلسلة بوليببتيدية تنمو، هي تلك السلسلة التي تطوى عندما تتم لتصبح البروتين.

أما الغرض الثالث-وربما الأهم-الذي تستخدم فيه الخلية الـ رن ا فهو استعماله كـ رن ا رسول. إن الخلية لا تستخدم الـ دن ا نفسه للعمل اليومي، وإنما تبقيه كنسخة الملف. أما لأغراض العمل فإنها تصنع نسخا من الـ رن الأجزاء معينة من الـ دن ا. وهذه الأشرطة من الـ رن ا هي التي توجه عملية تخليق البروتين على الريبوسومات، باستخدام الشفرة الوراثية الموضحة بهذا الملحق.

في أي مناقشة مستفيضة لمنشأ الحياة تظهر أهمية خواص رن ا الناقل، لأن هناك احتمالا كبيرا في انه-أو شكلا مبسطا منه-كان أول ما ظهر. فإن لم يكن هو البداية الفعلية للنظم ذاتية التكاثر فقد كان على الأقل على مقربة من البداية مباشرة. وجزيئات الحامض النووي ذات الخيط الواحد-وعلى الأخص جزيئات ر ن أ- دائما ما تطوى على نفسها لكي تكون مقاطع قصيرة من لولب مزدوج، وذلك حيثما تسمح أزواج القواعد. ولعل في جزيئات رن ا الناقل أفضل مثال على هذا. فالعمود الفقاري لا يتدلى على طول المكان وعرضه، وإنما يطوى في تركيب مندمج نسبيا معقد شيئا ما. وهذا يكشف في مكان ما عن مجموعة من ثلاث قواعد (تسمى ضد الكودون) تقرن بالقواعد الثلاثة الملائمة (المسماة الكودون) على الـ رن ا الرسول: ويعمل رن ا الناقل كمهيىء، بحامض نووي على إحدى نهايتيه وضد الكودون على النهاية الأخرى، فليس هناك آلية يمكن بها للحامض الأميني أن يتعرف

على الكودون بشكل مباشر (نقصد ثلاثية القواعد الملائمة على رن ا الرسول). وتخصص الشفرة الوراثية الحالية مضمن إذا في مجموعة جزيئات رن ا الناقل. وهناك نوع واحد منها على الأقل (والعادة أكثر من نوع) لكل حامض أميني، وكذا في مجموعة العشرين إنزيما (واحد لكل حمض أميني) التي تلحق كل حمض أميي بجزيئات رن ا المترجم الصحيحة. وبيانات إنتاج كل هذه المكونات الأساسية اللازمة لتخليق البروتين (وغيرها كثير) مشفرة الآن بالجينات، بالأجزاء الصحيحة من الـ د ن أ.

مراجع للاستزادة

1- Goldmith, Donald, Editor,(the Quest for Extraterrstrial Life. A Book of redings). Mill Valley, california: University Science Books, 1980.

هذه مجموعة من البحوث (مع تعليقات عليها من المحرر) تبدأ ببحث لجيوردانو برونو Giordano Bruno، نشر عام 1584، ولكن معظم البحوث حديث. وتضم المجموعة البحث الأصلي الذي كتبته أنا وأورجل Orgel عن «البذور الكونية الموجهة». وبعض البحوث فني تخصصي، ولكن القارىء العادي سوف يتمكن من الإلمام بالمغزى العام لمعظمها.

2- Jastrow, Robert, and malcolm M Thompson. (Astronomy: Fundamentals andFrontiers). New York: John Wiley And Sons, Inc.. Second Edition,1972..

هذا كتاب جيد للقارئ المثقف، إذ إنه موجه إلى طلاب الآداب خاصة. ومع أن الكاتب لم يستخدم الرياضيات فقد تمكن من تقديم أفكاره في مستوى مرتفع. وأضعف أجزاء الكتاب هو الذي يأتي في أواخره عن الفيروسات.

3- Miller, Stanley L.., and Leslie E. Orgel.)The Origins of Life on Earth(. Englewood Cliffs, New Jersey Printice-Hall, Inc.1974.

معالجة متقدمة للموضوع، تصلح لقارىء حاصل على درجة في العلوم.

4- Orgel, Leslie E.,)The Orgins of Life(. New York: John

Wiley and Sons 1973.

هذا كتاب جذاب للغاية، ولكنه أصعب من كتابي هذا («طبيعة الحياة»)، إذ إنه ألف لطلاب المدرسة العليا الذين لهم دراية جيدة بالعلوم، ولكن القارئ يستطيع مع ذلك أن يتفهمه.

. 5- Stryer, Lubert,(Biochemistry). San Francisco: W. H

. 1981, Freeman and Company, Second Edition

. 6- Watson, James D.,(Molecular Biology of the Gene)

Menlo Park, California: W. A. Benjamin, Inc., Third Edition 1976.

هذان الكتابان هما في الواقع كتابان دراسيان جامعيان، ولكنهما كتبا بأسلوب هين ميسر للقراءة، ومن ثم يصلحان مرجعين للقارئ الراغب في التعمق في الأسس الكيميائية للبيولوجيا الحديثة. ولا ينبغي أن يصرفنا عن ذلك الاختلاف بين الكيمياء الحيوية وعلم الوراثة الجزيئية، فعلى حد قول آرثر فريتزمان Arthur K.Fritzmann «كلنا ألان مشتغلون بالبيولوجيا الجزيئية».

المؤلف في سطور:

- فرانسيس هاري كومبتون كريك

* عالم بيولوجي فيزيائي بريطاني ولد في 8 يونيه عام 1916.

* نال في عام 1962 جائزة نوبل في الفسيولوجيا والطب مشاركة مع عالمين آخرين. وكانت تقديرا لإسهامه في تحديد المادة الكيميائية المسؤولة عن التحكم الوراثي في وظائف الحياة (D.N.A). ويعتبر الكثيرون هذا التحديد أهم اكتشاف بيولوجي في القرن العشرين.

* شارك أثناء الحرب العالمية الثانية في تطوير الألغام المغناطيسية لاستخدامها في البحر.

* عمل بعد الحرب باحثا في جامعة كامبردج.

* له كثير من المؤلفات والأبحاث.

المترجم في سطور:

د. أحمد مستجير مصطفى.

*دكتوراه في الوراثة من جامعة إدنبره عام 1963.

* له العديد من الكتب المؤلفة والمترجمة والأبحاث منها: أربعة كتب مؤلفة في مجال التحسين الوراثي للحيوان والدواجن. وأخرى مترجمة في مجالات العلوم والفلسفة.

* حصل على جائزة الدولة التشجيعية للعلوم الزراعية، ووسام العلوم والفنون من الدرجة الأولى في جمهورية مصر ا لعربية.

* يعمل حاليا عميدا لكلية الزراعة-جامعة القاهرة.



اللغات الأجنبية
تعلمها وتعليمها

تأليف:

د. نايف خرما و د. علي حجاج

المراجع في سطور:

- د. عبد الحافظ حلمي محمد:

* من مواليد محافظة أسيوط بمصر (1926).

* بكالوريوس العلوم من جامعة القاهرة (1946). ودكتوراه الفلسفة من جامعة لندن (1952).

* العميد الأسبق لكلية العلوم بجامعة عين شمس.

* نشر عديدا من البحوث المتخصصة والدراسات والمقالات العامة والكتب المؤلفة والمترجمة.

* شارك في عدد من المؤتمرات والندوات في علم الطفيليات وتاريخ العلم وفلسفته وقضايا العلم والدين.

* مستشار تحرير مجلة «العلم»، التي تصدرها أكاديمية البحث العلمي في القاهرة،وعضو هيئة تحرير «مجلة العلوم» و«موسوعة الكويت العلمية للأطفال»اللتين تصدرهما مؤسسة الكويت للتقدم العلمي.

* يعمل حاليا أستاذا للعلوم-علم الحيوان-العام بجامعة الكويت.